valimore, të cilat zmadhojnë intensitetin e fushës elektrike në elektrodat.

Prania e ujit në vaj zmadhon veprimin e papastërtive koloidale. Kjo ndodh sepse uji favorizon ndarjen e ngarkesave të tyre.

Vajrat minerale gjithmonë përmbajnë gjurma ajri të tretur ose në gjendje të lirë. Tretshmëria e gazeve në vaj zmadhohet me rritjen e temperaturës dhe të presionit. Vaji degazuar në qoftë se merr kontakt me ajrin, përsëri gëlltit lehtë ajër. Kur sasia e ajrit në vaj zmadhohet, krijohen fllucka ajri dhe qëndrueshmëria elektrike zvogëlohet. Flluckat e ajrit grumbullojnë rreth tyre ngarkesa elektrike njëlloj si thërmiat e tjera që ndodhen në vaj. Oksigjeni i ajrit shkakton oksidimin e vajit duke formuar pastaj papastërti koloidale.

Në praktikë merren masa për të ulur ndikimin e lagështimit të vajit, për largimin e papastërtive koloidale, gazeve etj. Vaji duhet të pastrohet përpara se të vendoset në transformatorë, në kondensatorë, në kablo dhe në çelësa.

Uji dhe gazet mund të largohen duke e nxehur vajin në vakuum. Fijet organike pastrohen me anë të filtrimit. Ky proces zhvillohet duke e qarkulluar vajin e nxehur me ndihmën e pompave nëpër filtra, pastaj duke e pulverizuar në një enë të madhe nën vakuum.

Vaji në këto kondita zmadhon shumë sipërfaqen, gjë që lehtson daljen e avujve të ujit dhe të gazeve. Vaji i pastruar me kujdes mund të fitojë qëndrueshmëri 300 deri në 400 kV/cm. Por zakonisht për temperaturën 20°C, qëndrueshmëria elektrike e vajit ulet në 200 kV/cm. Gjatë procesit të shfrytëzimit qëndrueshmëria e vajit zvogëlohet më tej, për shkak të thithjes së lagështisë dhe të ajrit, si dhe të formimit të papastërtive të tjera. Në qoftë se qëndrueshmëria e vajit ulet deri në 80 kV/cm., ai duhet të pastrohet përsëri. Në kondita të mira shfrytëzimi, vaji i transformatorit mund të punojë pa u pastruar të paktën 10 vjet.

Temperatura maksimale e lejuar e vajit është 90 deri 95°C. Kur temperatura është e lartë ai në kontakt me oksigjenin oksidohet, duke prodhuar produkte që zvogëlojnë qëndrueshmërinë elektrike të tij. Kur vaji përmban lagë-

shti, qëndrueshmëria ka vleftën maksimale për temperatura rreth 70°C (shih figurën 5-5).

Zmadhimi i presionit shkakton rritjen e qëndrueshmërisë elektrike të vajit. Sa më e njëtrajtëshme të jetë fusha elektrike, aq më i madh është zmadhimi i qëndrueshmërisë. Në elektrodat në formë maje tensioni shpimit për presione mbi 4 atmosferë, rritet shumë pak, ndërsa për elektroda sferike zmadhimi i tensionit të shpimit është pothuajse proporcional me presionin (fig.5-6). Shkaku i zmadhimit të tensionit të shpimit me rritjen e presionit shpjegohet me praninë e ajrit që përmban vaji.

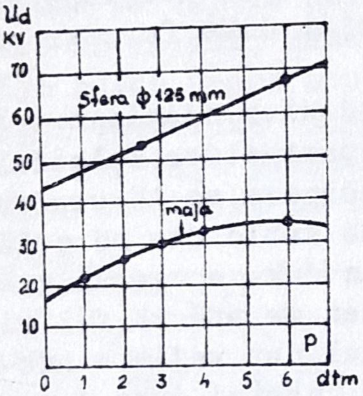


Fig.5-6. Varësia e tensionit të shpimit (50 Hz) të vajit nga presioni. Lartësia midis elektrodave 5 mm.

Ndikimi i llojit të tensionit në qëndrueshmërinë e vajit lidhet me faktin që deformimi i fushës elektrike midis elektrodave kërkon kohë. Kështu, tensioni i shpimit të vajit fillon të rritet duke kaluar nga tensioni i vazhduar tek ai alternativ, duke kaluar nëpër një vleftë maksimale për frekuencën disa qindra herc. Me zmadhimin e mëtejshëm të frekuencës, për shkak të zhvillimit të nxehtësisë, tensioni i shpimit zvogëlohet.

Për tensione impulsive konstatohet një zmadhim i theksuar i tensionit të shpimit (fig.5-7). Tensioni i shpimit të vajit për impulse nuk varet as nga temperatura, as nga presioni. Sa më pak zgjat impulsi aq më pak ndikon shkalla e papastërtisë në tensionin e shpimit të vajit. Për impulse shumë të shkurtëra tensioni i shpimit i vajit të papastërt është afërsisht i barabartë me atë të shpimit të vajit shumë të pastërt.

Gjendja e vajit nga pikëpamja e përmbajtjes së papastërtive dhe e konditave të shfrytëzimit përcaktohet duke matur tensionin e shpimit për kondita të caktuara standarde. Këto prova, që përcaktojnë kualitetin e vajit,

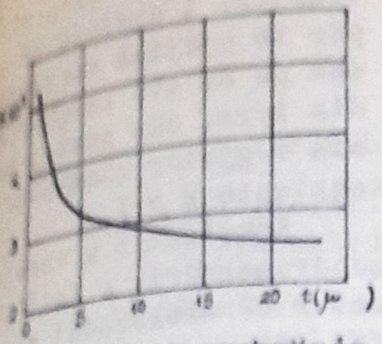


Fig.5-7. Qëndrueshmëria elektrike e vajit të transformatorit për impulseve.

kryhen në një enë porcelani me vëllim 0,5 litra, ku janë vendosur dy elektroda të tilla që të formojnë një fushë homogjene. Mund të jenë dy elektroda të rrafshta me buzë të kthyera, ose dy kësula sferike. Largësia midis elektrodave vendoset 2,5 mm. Për të caktuar tensionin e shpimit kryhen 6 shpime njëri pas tjetrit. Shpimi i parë nuk rekomandohet të merret parasysh. Nga pesë matjet e tjera nxirret e mesmja arithmetike. Pas çdo shpimi vaji përzihet me një shkop izolues të pastërt. Përvoja ka treguar se pa pastërtitë ndikojnë shumë kur largësia midis elektrodave është jo më e madhe se 3 mm. Temperatura gjatë provave duhet të mbahet 15 deri në 20°C.

Prova e kualitetit të vajit nuk duhet ngatërruar aspak me qëndrueshmërinë elektrike të vajit. Ashtu sikurse edhe në dielektrikët e ngurtë tensioni i shpimit me rritjen e largësisë midis elektrodave zmadhohet. Por ky zmadhim edhe në fushën e njëtrajtshme elektrike nuk është proporcional me largësinë midis elektrodave (fig.5-8).

Për shkak të ngarkesave vëllimore intensiteti i shpimit U_d/a zvogëlohet me zmadhimin e largësisë midis elektrodave a.

Nga pikëpamja praktike, rëndësi ka njohja e tensionit të shpimit, në varësi të largësisë midis elektrodave, për forma të ndryshme elektrodash.

5.2. Llogaritja e tensionit të shpimit të vajit.

Varësia e tensionit të shpimit të vajit nga largësia midis elektrodave, për format standarde të elektrodave, ka po të njëjtën formë si edhe varësia përkatëse e ajrit. Prandaj për të caktuar tensionin e shpimit të va-

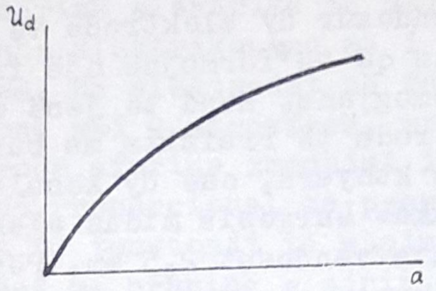


Fig.5-8. Varësia e qëndrueshmërisë së vajit nga largësia midis elektrodave (fushë elektrike e njëtrajtëshme).

jit, në fillim llogaritet tensioni i shpimit të ajrit për të njëjtat elektroda dhe po me atë largësi midis tyre, dhe pastaj madhësia e gjetur shumëzohet me konstante k > 1.

Konstantja k varet nga qëndrueshmëria e vajit e matur në elektrodat standarde (prova e shpimit të vajit), d.m.th. nga shkalla e pastërtisë së vajit. Për vajin e pastruar mirë (180 ... 200kV/cm) k $\cong$ 2,5.

Në qoftë se elektrodat sferike me diametër 12,5cm, me largësi midis tyre a = 10 cm., në ajër shpohen për U_d = 196 kV maks., atëhere tensioni i shpimit në vaj do të jetë : U'_d = 196.2,5=490 kV maks. = 360 kV ef. Për elektrodat në formë maje me largësi 30 cm. ajri shpohet për tensionin U_d = 123 kV ef. Tensioni i shpimit në vaj do të jetë:

$$U'_d = K \cdot 123 = 3.123 = 369 \text{ kVef.}$$

Koeficienti k, për rastin e elektrodave në formë maje, merret diçka më i madh se për fushën afërsisht homogjene (baras me 3).

Llogaritja e tensionit të shpimit të vajit, në këtë mënyrë, do të japë natyrisht vleftën mesatare të tensionit të shpimit. Në praktikë, për të patur siguri, izolimi , vlera e gjetur duhet zvogëluar me 15...20%.

KAPITULLI VI

Shkarkimi elektrik në kufirin e ndarjes së dielektrikëve të ndryshëm.

Në shumicën e aparateve elektrike takohemi me kombinimin e disa dielektrikëve, të cilët punojnë së bashku në fushën elektrike. Çdo izolator prej porcelani ose qelqi rrethohet prej ajrit atmosferik. Kështu, kufiri i ndarjes së ajrit me porcelanin ose me qelqin është sipërfaqja e këtyre të fundit. Në pajisjet që mbajnë vaj në vëllimin e tyre, kufiri i ndarjes midis vajit dhe dielektrikut të ngurtë është sipërfaqja e këtij të fundit p.sh. në transformatorë, sipërfaqja e letrës etj.

Në qoftë se mbi dy elektroda, të cilat ndahen midis tyre me dy ose më shumë dielektrikë, do të ushtrohet tension në rritje do të vërehet se shkarkimet mund të ndodhin më lehtë në sipërfaqe të kontaktit midis dy dielektrikëve.

6-1. <u>Mbulimi i izolacionit në sipërfaqen e dielektrikut të ngurtë në ambient me ajër.</u>

Supozojmë se midis dy elektrodave paralele të rrafshta, buzët e të cilave janë të kthyera, vendoset një cilindër qelqi (fig.6-1).

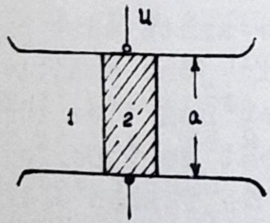


Fig.6-1.Cilindër porcelani midis elektrodave të rrafshta në ajër.

Pavarësisht nga prania e dielektrikut të ngurtë, fusha elektrike mbetet e njëtrajtshme edhe në kufirin e ndarjes të dy dielektrikëve. Pra intensiteti i fushës ruan po atë vlerë si në shtresën e ajrit puq me izolatorin ashtu edhe në vëllimin e ajrit. Prandaj mund të supozohet që tensioni i shpi-

mit të jetë i njëjtë si pa cilindrin dhe me të dhe shpimi mund të ndodh në ajër në çdo vend. Në të vërtetë vërehet diçka e ndryshme. Shkarkimi ndodh gjatë sipërfaqes së jashtme të cilindrit prej qelqi dhe për vlera mjaft më të vogla se sa kur mungon cilindri (fig.6-2). Vlerat më të vogla të mbulimit të izolatorit merren për tensione alternative dhe të vazhduara që veprojnë për kohë të gjatë. Kjo tregon se shkarkimi në sipërfaqe të dielektrikëve ka edhe karakter akumulues. Për tensione impulsive, tensioni i shkarkimit zmadhohet mjaft, por gjithmonë qëndron më i vogël se ai i shpimit të ajrit.

Tensionet e mbulimit varen shumë prej lagështisë relative të ajrit rrethues. Në fig.6-3 tregohet ndryshimi i intensitetit mesatar të mbulimit në varësi të lagështisë relative të ajrit rrethues. Siç shihet, me zmadhimin e lagështisë relative intensiteti mesatar e mbulimit zvogëlohet, por edhe sikur lagështia të hiqej krejt prej ajrit rrethues, prapseprap nuk do të fitohej qëndrueshmëria e ajrit (kurba 2 e fig.6-3).

Ndikimi i lagështisë të ajrit duket qartë dhe nga të dhënat e fig.6-4. Materialet që janë më pak higroskopike, për të njëjtat kondita, kanë tension mbulimi më të madh. P.sh. parafina (kurba 2) ka tension mbulimi më të madh se porcelani, i cili është më higroskopik se parafina (mbi higroskopicitetin e materialeve, shih kapitullin VII).

Shkaku i zvogëlimit të tensionit të mbulimit, në krahasim me atë të ajrit spjegohet në këtë mënyrë: sipërfaqja e dielktrikëve të ngurtë ka cilësi të ngjashme me ato të kapilarëve në vetë dielektrikun e ngurtë, d.m.th. të adsorbojë jone negative nga ambienti rrethues. Siç dihet ajri disponon si jone negative ashtu edhe pozitive. Jonet e lidhura negative tërheqin jone pozitive që të neutralizojnë ngarkesat e tyre. Jonet pozitive formojnë jonet rrëshqitëse ose të lidhura dobët me sipërfaqen e dielektrikut. Kur dielektriku vendoset në fushën elektrike, jonet pozitive rrëshqitëse largohen prej sipërfaqes së dielektrikut, prandaj jonet e lidhura negative modifikojnë fushën elektrike, duke e kthyer atë nga e njëtrajtshme në jo të njëtrajtshme. Në afërsi të elektrodave intensiteti

i fushës elektrike zmadhohet në krahasim me atë kur, dielektriku i ngurtë mungon.

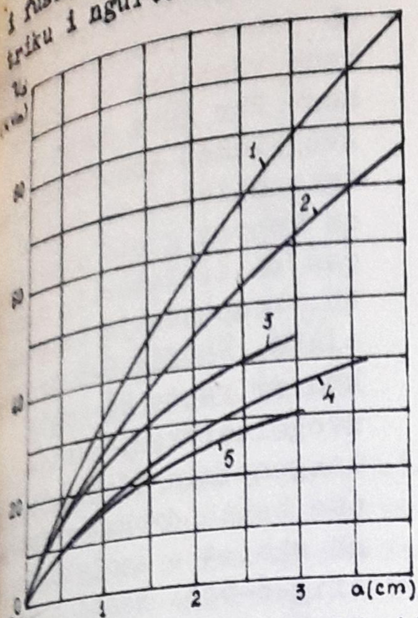


Fig.6-2.Tensioni i mbulimit gjatë sipërfaqes së xhamit në ajër në fushën e njëtrajtshme për forma të ndryshme tensioni.
1.Shpim i ajrit;2-tension alternativ me frekuencë $10^5 H_z$; 3.impuls;4-tension i vazhduar; 5-tension alternativ $50H_z$.

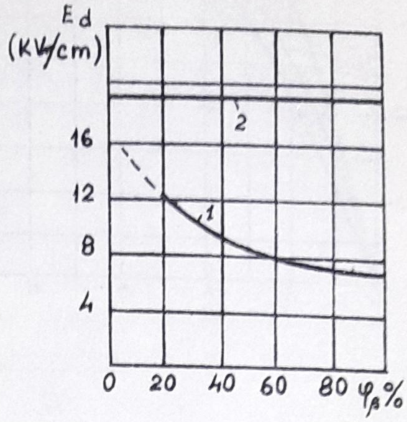


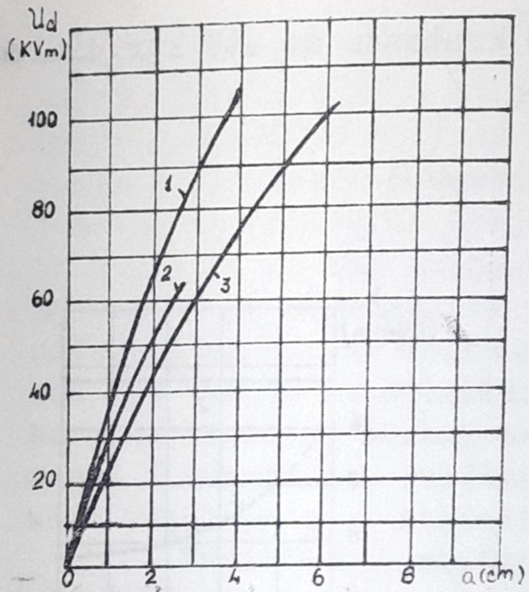
Fig.6-3.Varësia e intensitetit mesatar(vlera efektive) të mbulimit nga lagështia relative e ajrit.
1.Me cilindër porcelani;2-pa cilindër.Fushë e njëtrajtshme, a= 6 cm.

Lagështia në sipërfaqe të dielektrikut të ngurtë ndikon në zvogëlimin e forcave të lidhjes së joneve të absorbuara, prā zvogëlohet tensioni i mbulimit.

Lëvizja e joneve rrëshqitëse kërkon kohë. Nga kjo shpjegohet pse kurba 3 në fig.6-2 për tensione impulsive qëndron më lart se 4 ose 5. Për frekuenca të larta jonet rrëshqitëse e kanë gjithashtu vështirë të largohen prej sipërfaqes së dielektrikut të ngurtë.

Për fushën e njëtrajtshme shkarkimi i plotë ndodh pa u çfaqur shkarkime ndërmjetëse, p.sh. të kurbës.

Për të zmadhuar tensionin e mbulimit të sipërfaqes



së dielektrikut të ngurtë duhet t'i jepen forma që jonet rrëshqitëse ta kenë vështirë të largohen. Për këtë duhet të zvogëlohet komponentja e intensitetit të fushës që vepron gjatë sipërfaqes së izolatorit, d.m.th. komponentja tangenciale. Në fig.6-5 tregohen dy raste ku është zvogëluar komponentja tangenciale (fig.6-5a), ose është dobësuar fusha në skajet e izolatorit (fig.6-5b). Rasti i parë paraqet vështirësi për t'u realizuar në kundërshtim me rastin e dytë, ku dielektriku ka formë cilindrike.

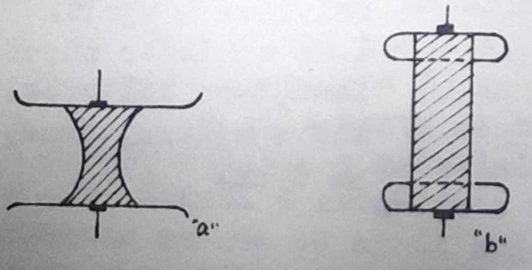


Fig.6-5.Forma izolatorësh që sigurojnë rritje të tensionit të mbulimit.

6-2.-Shkarkimi sipërfagësor në fushën jo të njëtrajtshme.

Si shëmbull të thjeshtë të fushës jo të njëtrajtshme, le të marim izolatorin kalimtar, i cili formohet prej thuprës përcjellëse të rrymës së punës, prej cilindrit izolues dhe prej flanxhës, e cila në shumicën e rasteve tokëzohet.

Në qoftë se tensioni rritet deri në një vlerë të caktuar, në buzët e flanxhës fillon shkarkimi kurorë (fig.6-6a). Intensiteti i shkarkimit zmadhohet me rritjen e tensionit (fig.6-6b).

Rritja e mëtejshme e tensionit bëhet shkak i çfaqjes të shkarkimeve rrëshqitëse (shkarkim jo i plotë gja-

sipërfaqes, fig. 6-6c), i cili kalon në mbulimin e plotë midis flanxhës dhe thuprës.

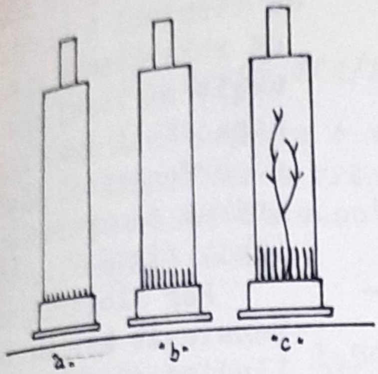


Fig.6-6.Zhvillimi i shkarkimit në sipërfaqe të izolatorit kalimtar a dhe b) stade të shkarkimit kurorë;c) shkarkimi rrëshqitës

Forma e shkarkimit ndodh në mënyrë të ngjashme me shkarkimin në ajër midis elektrodave me largësi të madhe midis tyre, me ndryshim që shkarkimi ndodh në sipërfaqe të dielektrikut dhe për një vlerë më të vogël të tensionit.

Fenomeni i shkarkimeve sipërfaqësore mund të shpjegohet në këtë mënyrë.

Në stadin e kurbrës, fijet e shkarkimit kanë rezistencë elektrike të madhe, prandaj në skajet e tyre ka një rënje të madhe tensioni. Ngarkesat elektrike (sidomos jonet) duke lëvizur nëpër këto fije (për të mbajtur fenomenin e kurorës) janë të shtrënguara nga komponentja normale E_n e intensitetit të fushës elektrike të lëvizin në sipërfaqe të dielektrikut të ngurtë (fig.6-7).Lëvizja e joneve shoqërohet me fërkim, pra me zhvillim nxehtësie. Kjo nxehtësi zmadhohet me rritjen e rrymës së kurorës dhe kur në ndonjë fije të kurorës temperatura rritet aq sa të çfaqet jonizimi termik, në atë fije shkalla e jonizimit forcohet shumë. Fija shndërohet në një kanal të shndritshëm me përcjellshmëri të madhe elektrike. Kanali bëhet pothuaj ekuipotencial, dhe intensiteti maksimal i fushës elektrike zhvendoset në krye të kanalit, duke i lejuar këtij të fundit të zhvillohet më tej. Këto kanale, për arësye të veprimit të fenomeneve të rastit, lindin, zhvillohen dhe zhduken. Kur ndonjeri prej tyre zhvillohet shumë, ai prek elektrodën tjetër, ose mbulon gjithë hapësirën midis elektrodave në sipërfaqe të dielektrikut të ngurtë. Në këto kondita ndodh shkarkimi i plotë ose mbulimi i izolacionit.

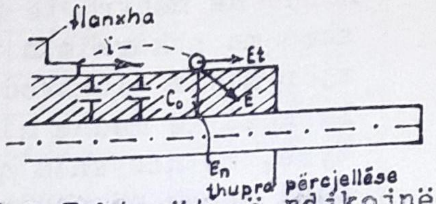


Fig.6-7.Faktorët që ndikojnë në zhvillimin e shkarkimeve në sipërfaqen e dielektrikëve të ngurtë.

Pas shumë eksperimentesh, Tepleri mundi të vej në dukje se tensioni i lindjes së shkarkimeve rrëshqitëse varej nga kapaciteti specifik sipërfaqësor i dielektrikut të ngurtë C_c (shih fig.6-7).

Për llogaritjen e tensionit kritik të lindjes së shkarkimeve rrëshqitëse në ajër, Tepleri dha formulën empirike:

$$U_{sh} = \frac{13,5.10^{-5}}{C_o^{0,45}} \qquad (6\text{-}1)$$

ku: U_{sh} paraqet tensionin e lindjes së shkarkimeve rrëshqitëse që jepet në kV maks.;

Co paraqet kapacitetin specifik në F/cm^2.

Izolatori kalimtar me cilindër izolues përfaqëson në vetëvete një kondensator cilindrik, rrezet e elektrodave të të cilit janë r,R, kurse kapaciteti specifik sipërfaqësor mund të llogaritet prej formulës së njohur:

$$C_o = \frac{\varepsilon_o \ \varepsilon_r}{R \ l_n \ R/r} \qquad (6\text{-}2)$$

Për trashësi të vogla të cilindrit izolues R=r=d, kondensatorin cilindrik mund ta zëvendësojmë me kondensatorin e rrafshët dhe kapacitetin specifik ta shprehim sipas kësaj formule:

$$C_o = \frac{\varepsilon_o \ \varepsilon_r}{d} \qquad (6\text{-}3)$$

Duke zëvendësuar kapacitetin C_o sipas (6-3), në formulën (6-1) do të marrim:

$$U_{sh} = 105{,}8(d/\varepsilon_r)^{0{,}45} \qquad (6\text{-}4)$$

ku: d është trashësia e dielektrikut në cm. Tensioni i l[illegible] ndjes së shkarkimeve rrëshqitëse do të shprehet në kV mak[illegible] Tepleri dha edhe tensionin e lindjes së kurorës, sipas formulës që pason:

$$U_k = \frac{1{,}56.10^{-5}}{C_o^{0{,}45}}, \qquad (6\text{-}5)$$

ku C_o shprehet në F/cm^2., kurse U_k në kV maks.

Në mënyrë analoge, për R-r= d të vogla, formula (6-5) mund të shkruhet :

$$U_k = 12\,(d/\varepsilon_r)^{0{,}45}, \qquad (6\text{-}6)$$

ku d shprehet në cm., kurse U_k në kVmaks.

Në fig.6-8 jepen të dhënat e fituara në mënyrë eksperimentale për izolatorin kalimtar me dielektrik të formuar prej letrës së bakelitizuar ($\varepsilon_r = 4{,}5$). Buzët e flanxhës u realizuan prej materialesh përcjellëse të ndryshme. Eksperimentet u kryen në ambient ajror (gaz) dh[illegible] vaj.

Kurba 1 paraqet varësinë e tensionit të lindjes së shkarkimit kurorë në ajër nga largësia midis elektroda[illegible] ve d(mm). Kurba 4 tregon tensionin e lindjes së shkarkime[illegible] ve rrëshqitëse. Të dy këto kurba kanë të vlefshme për fla[illegible] nxhë metalike. Në qoftë se kjo e fundit do të jetë prej grafiti tensioni i çfaqjes së kurbrës rritet (kurba 2), kurse ajo e shkarkimeve rrëshqitëse nuk ndryshon.

Kurba 3 jep çfaqjen e shkarkimit kurorë në ambien[illegible] me vaj. Gjithashtu kurba 4 mbetet e vlefshme edhe për ambientin me vaj, d.m.th. shkarkimet rrëshqitëse lindin njëlloj si në ajër ashtu edhe në vaj.

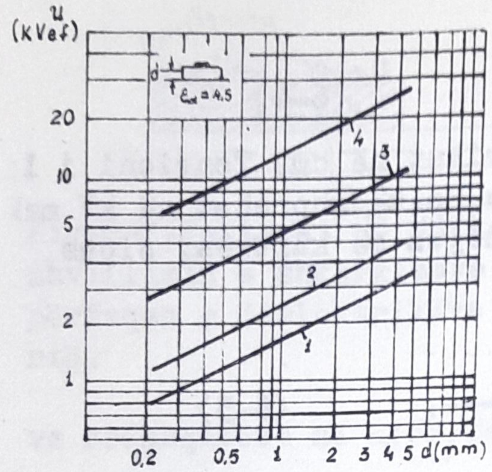


Fig. 6-8. Varësia e tensionit të lindjes të shkarkimit kurorë dhe të rrëshqitjes nga trashësia e dielektrikut(ε_r=4,5). Kurora; 1) në buzët metalike të flanxhës(ajër); 2-në buzët e grafitizuara të flanxhës (ajër);3-buzë metalike dhe grafike në vaj. Shkarkimi rrëshqitës;4-në ajër ose në vaj pavarësisht nga lloji i buzëve të flanxhës.

Kur çfaqen shkarkimet rrëshqitëse mjafton një zmadhim i vogël i tensionit për të ndodhur shkarkimi i plotë. Gradienti mesatar i lejuar i intensitetit të fushës për izolatorët kalimtarë është afërsisht 1 deri 2 kV_{ef}/cm.

Shkarkimi rrëshqitës mund të lejohet vetëm për kohë të shkurtër, sepse ai le gjurma të ngjashme me ato të shkarkimeve mbi sipërfaqe. Të tilla gjurma mund të vërehen në izolatorët me dielektrikë organikë (letër e bakelitizuar, rrëshira etj.). Këto gjurma ulin tensionin e mbulimit të izolacionit. Sipërfaqja e dëmtuar mund të riparohet duke gërryer pjesën e dëmtuar dhe duke e mbuluar atë me llak. Tensioni i mbulimit mund të rritet në qoftë se në sipërfaqe të izolatorit kalimtar bëhet një shpërndarje sa më e njëtrajtshme e tensionit.

6-3. Mbulimi i izolacionit në vaj.

Mbulimi në vaj ndjek po ato ligjshmëri si në ajër, por tensioni i mbulimit në vaj për kondita të njëjta, është më i madh se në ajër. Duhet vënë në dukje se shkarkimet në vaj zbërthejnë vajin, prandaj ato gjatë provave dhe në shfrytëzim duhen lejuar vetëm për kohë të shkurtër. Produktet e zbërthimit (bloza, llumi) prishin pastërtinë e si-

përfaqes së izolatorëve dhe ndihmojnë për zhvillimin e mëtejshëm të shkarkimeve. Prandaj në shfrytëzim nuk lejohet të çfaqet kurora në vaj.

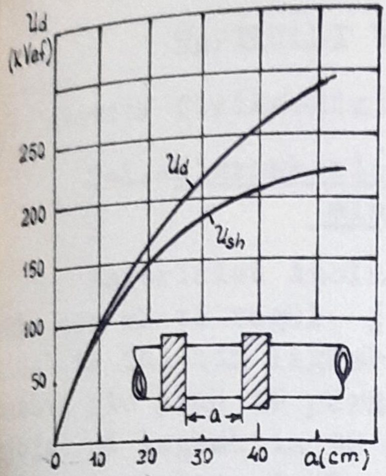


Fig.6-9. Tensioni i mbulimit të cilindrit prej letre të bakelitizuar në varësi të largësisë midis elektrodave unazore në vaj.

Në fig.6-9 tregohet varësia e tensionit të mbulimit nga largësia midis elektrodave, për rastin e një izolatori mbështetës cilindrik prej letre të bakelitizuar. Siç shihet, shkarkimi rrëshqitës fillon të çfaqet në mënyrë të pavarur nga shkarkimi i plotë për largësi midis elektrodave unazore a >15 cm. (kurba U_{sh}).

Shkarkimi kurorë në vaj, në izolatorin kalimtar, çfaqet për një tension afërsisht 3,5 herë më të madh se në ajër (shih fig.6-8), ndërsa shkarkimi rrëshqitës çfaqet për të njëjtin tension si në vaj dhe në ajër.

Shkarkimet rrëshqitëse nuk duhet të çfaqen për tensionin e provës së izolatorëve kalimtarë, sepse jo vetëm që ato lenë gjurma por një rritje e mëtejshme e vogël e tensionit mund të shkaktojë mbulimin e izolacionit.

Mbulimi i izolacionit në vaj, për largësi të vogla midis elektrodave ndodh për gradiente mesatare rreth 5 kVef/cm., kurse për largësi të mëdha 3 kVef/cm.

Në qoftë se rregullohet shpërndarja e tensionit gjatë sipërfaqes së izolatorit, qëndrueshmëria mund të zmadhohet deri në 20 kVef/cm. dhe më shumë.

Për tensione impulsive (1/50 μsek) mund të pritet një koeficient impulsi β = 1,5 .... 2,0.

Shkarkime sipërfaqësore mund të lindin në dielektrikët shtresorë në sipërfaqen midis dy shtresave. P.sh.

në kablat me letër të imprenjuar në vaj, shkarkimi midis shtresave të letrës mund të zhvillohet lehtësisht (shih izolacionin e kablove të fuqisë).

KAPITULLI VII

Vetitë fiziko-kimike të dielektrikëve

7-1.-Higroskopiciteti i materialeve izoluese elektrike

Materialet izoluese elektrike, në një masë më të madhe ose më të vogël, janë higroskopike, d.m.th. kanë cilësi të thithin lagështi prej ambjentit rrethues. Gjithashtu ato janë të përshkueshme prej lagështisë, dhe lejojnë që lagështia të kalojë nëpër mes tyre. Këto cilësi të materialeve izoluese elektrike janë mjaft të rëndësishme, sepse lagështia keqëson cilësitë e tyre elektrike.

1) Lagështimi i materialeve. Një material izolues elektrik i vendosur në një ambient rrethues me kondita të caktuara lagështis dhe temperature, pas një kohe shumë të gjatë do të fitojë një gjendje ekuilibri lagështimi. Në qoftë se një material izolues kampion në gjendje mjaft të thatë vendoset në ajër me lagështi relative φ, atëherë do të vërejmë një thithje të vazhdueshme të lagështisë prej tij. Lagështimi i materialit w, d.m.th. përmbajtja e lagështisë në njësinë e peshës së materialit do të rritet me kalimin e kohës, duke iu afruar në mënyrë asimptotike lagështimit të vendosur w_v, që varet nga lagështia relative w_v dhe nga temperatura e ajrit rrethues (fig.7-1 (a).

Përkundrazi, në qoftë se në ajër me po atë lagështi relative dhe me po atë temperaturë vendosim kampionin e të njëjtit material, por me lagështim fillestar më të lartë se w_v, atëhere lagështia e kampionit do të zvogëlohet, duke iu afruar përsëri vlerës së lagështimit w_v. Në këtë rast ndodh tharja e materialit (fig.7-1(b).

Vlerat e vendosura të lagështimit për materiale të ndryshme, për kondita të njëjta lagështie relative φ

dhe temperature të ajrit rrethues, mund të jenë mjaft të ndryshme. Ky fakt pasqyrohet në fig.7-2 për disa materiale të ndryshme, në të njëjtin ambient me ajër me temperaturë normale 20°C.

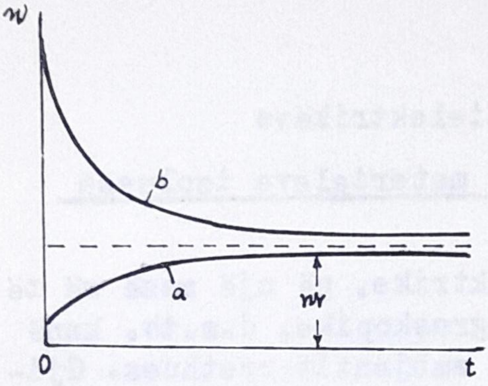


Fig.7-1.Ndryshimi i lagështimit w gjatë procesit të lagështimit(a) dhe tharjes(b) për kondita të caktuara të ajrit rrethues.

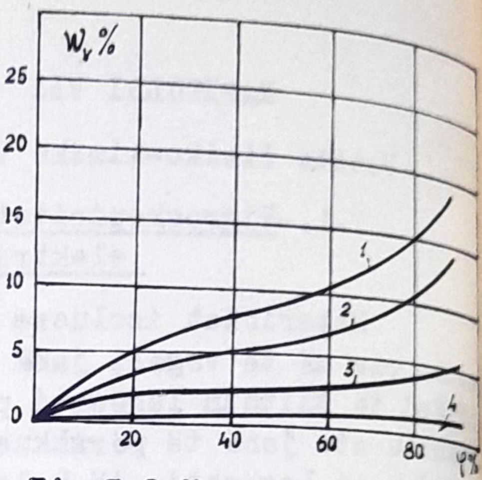


Fig.7-2.Varësia e lagështimit të vendosur w_v nga lagështia relative e ajrit rrethues φ, për materiale të ndryshme, për temperaturën normale 20°C. 1) dru;2) letër kalbi;3)fenoplast;4) keramikë poroze.

Në lagështimin e materialeve, ndikim të madh ushtron temperatura. Me rritjen e temperaturës lagështimi i vendosur, që i përket të njëjtës vlerë φ ,zvogëlohet (fig.7-3). Në këtë mënyrë materiali izolues mund të thahet jo vetëm kur paksohet lagështia relative e ajrit, por edhe kur zmadhohet temperatura. Nga pikëpamja kuantitative lagështimi i një materiali përcaktohet sipas shprehjes:

$$w = \frac{G - G_o}{G_o} \, 100\ \% \qquad (7\text{-}1)$$

ku, G është pesha e trupit kampion me lagështi, kurse

g_o është pesha e tij pa lagështi.

2) Higroskopiciteti. Me higroskopicitet kuptohet lagështimi i vendosur i një materiali të caktuar me temperaturë normale ($20^{o}C$) dhe me lagështi relative të ajrit 100%. Praktikisht përcaktimi i higroskopicitetit bëhet duke matur shtesën e peshës që pëson materiali kampion.

Koha e mbajtjes së materialit kampion rekomandohet të jetë 24 orë. Higroskopiciteti përcaktohet prej formulës:

$$w_1 = \frac{G_1 - G_o}{G_o} \cdot 100\% \qquad (7-2)$$

3) Ujëthithja. Shpeshherë izolacioni punon jo vetëm në kontakt me ajrin, i cili përmban avuj uji, por edhe në kontakt me ujin. Kështu, p.sh., izolatorët i nënshtrohen reshjeve atmosferike. Përcaktimi i ujëthithjes bëhet duke matur shtesën e peshës, që fiton materiali kampion i mbajtur në ujë për temperaturën normale. Me përcaktimin e peshës G_2 të kampionit në kondita e përmendura më sipër, ujëthithja do të shprehet sipas formulës :

$$W_2 = \frac{G_2 - G_o}{G_o} \, 100\,\% \qquad (7-3)$$

Eksperienca tregon se $w_2 > w_1$.

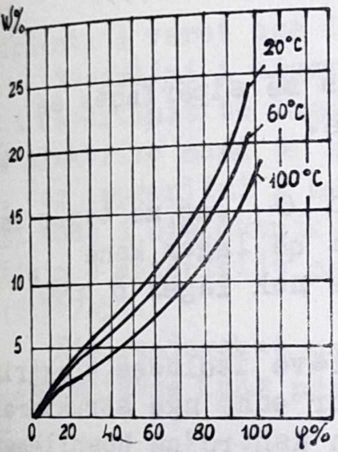


Fig.7-3. Vartësia e lagështimit të vendosur w_y e drurit, nga lagështia relative e ajrit , për vlera të ndryshme të temperaturës.

Materialet me strukturë anizotrope thithin lagështi me shpejtësi të ndryshme. Kështu, druri thith lagështi më shumë në drejtim të fijeve; ndërsa materialet shtresore në drejtim të shtresave.

Materialet e ndryshme izoluese elektrike kanë vlera të ndryshme w_1, w_2, që ndryshojnë nga disa të qindat pjesë të përqindjes deri në disa dhjetra për qind. Sa më polarë janë dielektrikët aq më tepër janë higroskopikë. Dielektrikët jopolarë janë shumë pak higroskopikë, si p.sh. parafina, polietileni etj.

Aftësia që kanë trupat e ngurtë të lagen prej ujit në sipërfaqe, ose prej ndonjë lëngu tjetër, përcaktohet prej këndit të lagjes θ të pikës së ujit (fig.7-4).

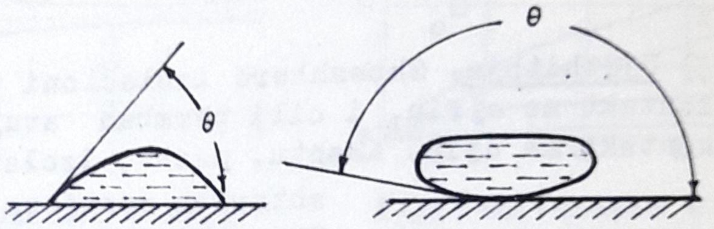


Fig.7-4. Këndet e lagjes së sipërfaqes së trupave të ngurët me ujë.

Sa më i vogël të jetë këndi θ, aq më tepër laget sipërfaqja e trupit. Sipërfaqet që lagen kanë $\theta < 90^\circ$ (fig.7-4(a); kurse ata që nuk lagen $\theta > 90^\circ$ (fig.7-4(b).

Higroskopiciteti i materialeve izoluese elektrike varet jo vetëm nga natyra kimike por edhe nga struktura e ndërtimit të tyre. Ndikim të madh ushtrojnë boshllëqet kapilare në brendësi të materialit, ku mund të hyjë lagështia. Materialet poroze, siç janë ato fijore, janë më higroskopike se sa materialet me ndërtim të plotë, si p.sh. xhamit lagështia i përqëndrohet me një shtresë të hollë në sipërfaqe, por nuk i hyn brenda.

Përveç parametrave w_1 dhe w_2, për të përcaktuar ndikimin e lagështisë matet ndryshimi i rezistencës specifike vëllimore ose këndi i humbjeve dielektrike.

4) Aftësia e një materiali për të lejuar lagështinë tejpërtej ka rëndësi të madh praktike si p.sh. për vlerësimin e llakeve mbuluese, izoluese, etj. Për

shkak të poreve mikroskopike dhe submikroskopike, shumica e materialeve izoluese përshkohet tej përtej prej lagështi. Për të kuptuar arësyen e depërtimit të lagështisë në poret shumë të vogla, duhet patur parasysh që molekula e ujit ka përmasa ($2,5 \cdot 10^{-10}$m) shumë më të vogla se sa të elementeve që përbëjnë shumicën dërmuese të materialeve izoluese.

Sasia e lagështisë M(në Mg), që kalon për kohën τ (orë) nëpër sipërfaqen S(cm^2) të materialit me trashësi a(cm), nën veprimin e diferencës së presioneve të avujve të ujit p_1 dhe p_2 në dy anët e shtresës llogaritet prej formulës :

$$M = A \frac{(p_1 - p_2)S\tau}{a} \qquad (7-4)$$

Koeficienti A varet nga lloji i materialit.

Zvogëlimi i higroskopicitetit të materialeve si edhe i depërtimit të lagështisë i materialeve poroze izoluese elektrike mund të arrihet duke bërë imprenjimin e tyre. Por imprenjimi i materialeve fijore me bazë celulozën si edhe i dielektrikëve polarë, vetëm ngadalëson lagështimin e materialit pa ndikuar në lagështimin e vendosur (fig.7-5).

Kjo shpjegohet me faktin që molekulat e materialeve imprenjuese kanë përmasa mjaft më të mëdha se ato të ujit.

7-2 Cilësitë mekanike të dielektrikëve

Meqenëse detajet me materiale izoluese elektrike iu nënshtrohen veprimeve mekanike, rëndësi të madhe praktike ka qëndrueshmëria mekanike e tyre si dhe deformimet që ato pësojnë.

1. Qëndrueshmëria në tërheqje, një shtypje dhe në përkulje

Format, e thjeshta tëngarkesave statike mekanike studjohen në bazë të ligjeve elementare, të njohura në kursin e rezistencës materialeve, sikurse janë tërheqja,

shtypja dhe përkulja.

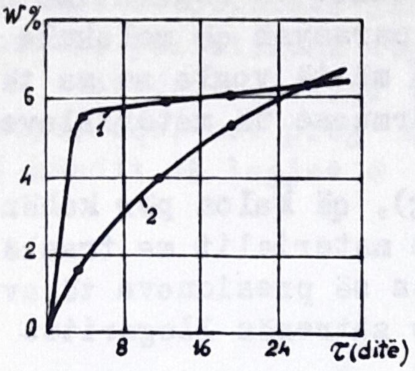


Fig.7-5. Ndikimi i imprenjimit me parafinë në thithjen e lagështisë prej kartonit.
Lagështia e ajrit 65 %:
1. karton i paimprenjuar;
2. karton i imprenjuar me parafinë.

Në qoftë se materiali kampion me seksion tërthor $S (cm^2)$ i nënshtrohet një force që rritet gradualisht (fig.7-6); atëhere kur arrin një vlerë kritike e kësaj force P_t (kg) kampioni këputet. Kufiri i qëndrueshmërisë në tërheqje σ_t përcaktohet sipas shprehjes:

$$\sigma_t = \frac{P_t}{S} \ (kg/cm^2) \qquad (7\text{-}5)$$

Kufiri i qëndrueshmërisë në shtypje σ_s përcaktohet me kampione që gjatësinë nuk e kanë shumë të madhe në krahasim me përmasat tërthore, sipas shprehjes;

$$\sigma_s = \frac{P_s}{S} \ (kg/cm^2) \qquad (7\text{-}6)$$

ku P_s është forca shtypëse shkatërruese, në kg.

Kufiri i qëndrueshmërisë në përkulje σ_p përcaktohet në një kampion me seksion tërthor katërkëndësh këndrejtë të vendosur në dy mbështetje të lira. Ngarkesa vepron në mes (fig.7-7).

$$\sigma_p = 1{,}5 \frac{P_p \cdot \ell}{b\,h^2} \ (kg/cm^2) \qquad (7\text{-}7)$$

ku P_p është ngarkesa e shkatërrimit, në kg,
ℓ është gjatësia e kampionit në cm;
b është gjërësia e kampionit në cm;
h është lartësia e tij në cm.

Për materialet izoluese elektrike me strukturë anisotrope (shtresorë, fijorë etj.) vlera e qëndrueshmërisë mekanike varet shumë nga drejtimi i ushtrimit të forcës.

Duhet të vihet në dukje se shumë dielektrikë, si p.sh. xhami, materialet keramike, shumë plastmasa etj., kufirin e qëndrueshmërisë në shtypje e kanë shumë më të madh se në tërheqje ose në përkulje.

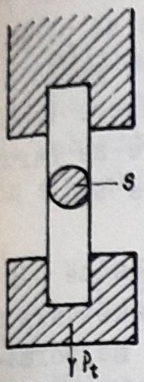


Fig.7-6. Skemë për provën në këputje.

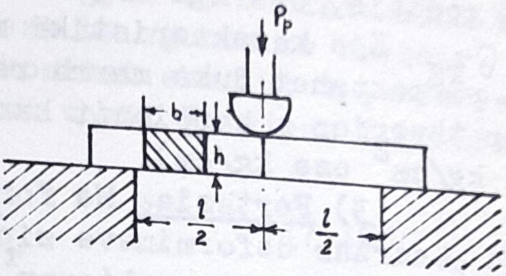


Fig.7-7. Skemë për provën në përkulje.

Qëndrueshmëria mekanike varet shumë nga temperatura dhe në përgjithësi ulet me rritjen e temperaturës (fig.7-8).

Qëndrueshmëria e materialeve higroskopike varet shumë nga lagështimi i tyre. Prandaj përcaktimi i qëndrueshmërisë mekanike bëhet për kondita të caktuara temperature dhe lagështie.

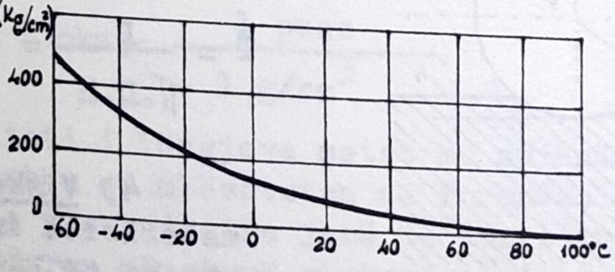


Fig.7-8. Varësia e qëndrueshmërisë mekanike në tërheqje e polietilenit nga temperatura.

Disa materiale izoluese elektrike deformohen nga

veprimet mekanike, sepse janë plasike. Të tilla deform... në praktikë nuk janë të dëshirueshme, prandaj përcakto... dhe qëndrushmëria mekanike kundrejt deformimeve, të ... varen shumë nga temperatura.

Rëndësi të madhe praktike në shumë raste, ka ... shmëria ose fortësia etj.

2) Thyeshmëria. Shumë materiale janë të thyeshm... d.m.th. ato kanë qëndrueshmëri mekanike relativisht të madhe kundrejt veprimeve statike, ndërsa mund të shkat... rrohen lehtë nga forcat dinamike. Qëndrueshmëria kundr... këtyre veprimeve përcaktohet me anë të provës së përkul... në goditje, ose nga rrjedhshmëria specifike në goditje σ_{rg}. Kjo karakteristikë mekanike e materialeve izol... se përcaktohet duke marrë raportin e energjisë së harxh... për thyerjen e kampionit kundrejt seksionit të tij S(kg/cm^2 ose kg/cm).

3) Fortësia. Me fortësi kuptojmë aftësinë për t'u qëndruar deformimeve sipërfaqësore të shkaktuara n... forca shtypëse e realizuar nëpërmjet trupave me përma... sa të vogla. Një nga mënyrat e përcaktimit të kësaj kara... kteristike është metoda e Brinelit. Sfera e çelikit me diametër D vepron mbi sipërfaqen e materialit që provohet më një forcë P.Pasi hiqet ngarkesa matet thellësia h dhe diametri i deformimit d(fig.7-9).

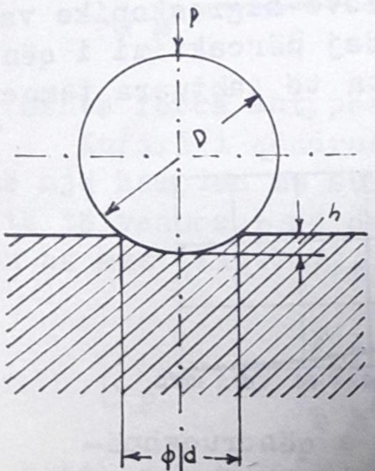


Fig.7-9.Skemë për caktimin e fortësisë sipas Brinelit.

Fortësia,sipas Brinelit, gjendjet nga raporti i for... cës P në kg, me sipërfaqe e kësulës sferike në mm^2.

$$T = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot h} = \frac{P}{\frac{\pi}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \qquad (7-8)$$

4) Viskoziteti. Për materialet izoluese elektrike të lëngëta ose gjysma të lëngëta, si vaj... rat, llaket, kampaundet derdhëse dhe imprenjuese viskoziteti ka rëndësi të madhe.

Viskoziteti absolut (dinamik) ose koeficienti i fërkimit të brendshëm i lëngjeve përbën një madhësi që reflektohet në shumë ligje të hidrodinamikës.

Sipas hidrodinamikës, sasia e lëngut me viskozitet absolut η, që rrjedh gjatë kohës τ nën veprimin e presionit p nëpër një kapilar me gjatësi l dhe me rreze r, mund të përcaktohet me ndihmën e ligjit të Pauzelit :

$$V = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi p r^4}{8 l} \tau \qquad (7\text{-}9)$$

Gjithashtu, me ndihmën e ligjit të Stoksit mund të përcaktohet shpejtësia e një sfere të ngurtë me rreze r në një ambient të pafund me viskozitet absolut η, nën veprimin e vazhdueshëm të forcës së vogël F, sipas formulës :

$$v = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{F}{6 \pi r} \qquad (7\text{-}10)$$

Njësia e matjes e viskozitetit absolut është puazi Në formulën (7-10), shpejtësia del në cm/sek, në qoftë se η shprehet në puaz, F në din dhe r në cm. Uji i pastër me temperaturë 20°C ka viskozitet absolut 0,01 puaz.

Viskoziteti kinematik ν jepet prej raportit të viskozitetit absolut kundrejt densitetit përkatës :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \qquad (7\text{-}11)$$

Njësia e viskozitetit kinematik është stoksi .

$$1 \text{ stoks} = \frac{1 \text{ puaz}}{1 \text{ g/cm}^3}.$$

Viskoziteti i lëngjeve matet me ndihmën e viskozimetrave të ndryshëm që mbështeten në formulat (7-9) dhe (7-10). Por këta viskozimetra janë të komplikuar, prandaj në praktikë përdoren më shumë viskozimetra që matin kohën e rrjedhjes të një vëllimi të caktuar lëngu prej një ene me formë dhe me përmasa të caktuara. Një viskozimetër i

tillë është ai i Englerit. Viskoziteti i matur sipas mënyrës së Englerit është një viskozitet relativ, i krahasuar kundrejt ujit të distiluar me temperaturë 20°C, që shprehet në gradë engler ε^{o}.

Viskoziteti i çdo materiali, që nuk pëson ndryshime kimike gjatë nxehjes, zvogëlohet në mënyrë të theksuar kur zmadhohet temperatura.

Ligji i ndryshimit të viskozitetit nga temperatura është eksponencial,

$$\eta = A\, e^{W/kT} \qquad (7\text{-}12)$$

ku: A është një konstante, që karakterizon lëngun e dhënë;
W është energjia e aktivizimit, e barabartë me punën e nevojshme që një molekulë të kalojë nga një vënd në tjetrin;
T është temperatura absolute.

Karakteri i ndryshimit të viskozitetit me zmadhimin e temperaturës tregohet në fig.3-10.

7-3.-Cilësitë termike të materialeve izoluese elektrike.

1. Qëndrueshmëria kundrejt nxehtësisë. Me zmadhimin e temperaturës, karakteristikat e materialeve izoluese elektrike keqësohen si p.sh. rezistenca e izolacionit, intesiteti i shpimit dhe qëndrueshmëria mekanike zvogëlohet, kurse këndi e humbjeve dielektrike dhe deformime gjatë veprimeve mekanike zmadhohen. Prandaj aftësia që kanë materialet izoluese elektrike për t'i qëndruar zmadhimit të temperaturës dhe sidomos përcaktimi i temperaturës më të madhe të lejuar, pa zvogëluar në mënyrë të ndieshme qëndrueshmërinë e shfrytëzimit, ka rëndësi shumë të madhe praktike . Mundësia e zmadhimit të temperaturës në izolacion për praktikën ka leverdi të madhe. Në maqinat elektrike dhe në aparatet e tjera elektrike, zmadhimi i temperaturës së punës, e cila praktikisht kufizohet prej materialeve izoluese, jep mundësi të fitohen fuqi më të mëdha në po ato përmasa ose duke zvogëluar përmasat, peshën dhe koston, duke mbajtur po ato fuqi të aparatit përkatës.

Në disa raste zmadhimi i temperaturës shkakëton ndryshime të dukshme në materialet izoluese. Në disa materiale ndodh shkrirja ose zbutja e shkallëzuar e tyre, etj.

Temperaturë e flakërimit quhet ajo temperaturë e një lëngu deri në atë shkallë sa avujt e çliruar në kontakt me ajrin mund të ndizen në qoftë se iu afrohet atyre një flakë e vogël.

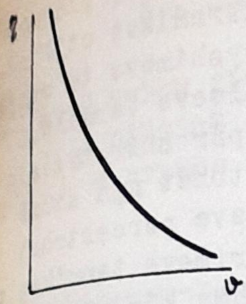


Fig.7-10. Karakteri i përgjithshëm i ndryshimit të viskozitetit të një lëngu nga temperatura.

Temperatura e ndezjës, e cila është më e madhe se e flakërimit, është ajo e cila afrimi i flakës shkakton djegjen e të gjithë sasisë së lëngut që provohet.

Këto karakteristika kanë rëndësi të madhe për caktimin e cilësisë së vajit të transformatorëve si edhe të tretsave që përdoren për prodhimin e llakeve izoluese.

Në shumë raste prova e izolacionit me një mbinxehje për një kohë të shkurtër është e pamjaftueshme, sepse keqësimi i cilësive të izolacionit mund të vihet në dukje vetëm gjatë veprimit të temperaturës së ngritur për kohë të gjatë. Në këtë rast ndodhin procese të ngadalta kimike, prandaj kemi të bëjmë me të ashtuquajturin vjetrim termik të izolacionit.

Vjetrimi mund të çfaqet, p.sh. në vajin e transformatorit në formën e zmadhimit të produkteve të oksidimit, në llaket mbuluese ose në materialet me celulozë në formën e zmadhimit të fortësisë dhe të thyeshmërisë duke formuar të plasura, etj.

Përveç temperaturës në shpejtimin e vjetrimit të materialeve izoluese mund të ndikojnë: zmadhimi i presionit të ajrit ose koncentrimi i oksigjenit, prania e ozonit i cili është një oksidues më i fortë se oksigjeni si edhe një numër reagentësh kimikë të cilët fuqizojnë ose ngadalësojnë vjetrimin. Vjetrimi termik fuqizohet prej veprimit të rre-

zeve ultravioletë të veprimit të intensitetit të fushës elektrike, të veprimit të ngarkesave mekanike, etj.

Gjithashtu, për disa materiale izoluese, sidomos për ato që janë të thyeshme, si xhami, karamikat etj. rëndësi ka qëndrueshmëria për kundrejt ndryshimeve të menjëhershme të temperaturës, d.m.th. të impulseve termike.

Regjimi i lejuar i temperaturës për shfrytëzimin e materialit, siç shihet, mund të përcaktohet nga shumë faktorë të ndryshëm. Si përfundim i provave përcaktohet qëndrueshmëria e materialit kundrejt veprimeve termike, por duke patur parasysh që në raste të ndryshme kjo qëndrueshmëri mund të jetë jo e njëjtë. Materiali që duron lehtë një mbinxehje për kohë të shkurtër mund të mos durojë për shkak të vjetrimit termik veprimin e gjatë të një temperature më të ulët, ose një material që duron gjatë nxehjen me një temperaturë të lartë në mënyrë të vazhdueshme mund të pëlcas gjatë një ftohjeje të menjëhershme. Në këtë mënyrë, qëndrueshmëri termike e materialeve izoluese elektrike ose e pajisjeve izoluese quhet aftësia për të duruar pa u dëmtuar si veprimin në mënyrë të vazhdueshme të temperaturës së lartë, ashtu edhe ndryshimet e menjëhershme të saj.

Materialet që përdoren për izolimin e maqinave ose të aparateve elektrike, sipas madhësisë së lejuar të temperaturës në mënyrë të vazhdueshme, ndahen në disa klasa të qëndrueshmërisë termike (tabela 7-1).

2. Përcjellshmëria termike. Vlera praktike e përcjellshmërisë termike shpjegohet me faktin se nxehtësia prej përcjellësave elektrikë ose prej bërthamave magnetike në maqinat dhe në aparatet elektrike largohet në përgjithësi nëpërmjet shtresave të materialit izolues. Në këtë mënyrë rezistenca termike e izolacionit elektrik ndikon në nxehjen e përcjellsave dhe të bërthamave magnetike, sidomos në pajisjet e tensionit të lartë ku shtresa e izolimit është mjaft e trashë. Përveç kësaj, përcjellshmëria termike ndikon edhe në qëndrueshmërinë elektrike për shkak të rritjes të temperaturës në vetë materialin izolues.

Ligjet e shpërndarjes së nxehtësisë janë të ngjashme me ato të qarkullimit të rrymës elektrike. Transmetimi i nxehtësisë nëpër një trup me rezistencë të plotë

termike R_t, me ndryshim temperature ΔT, llogaritet me formulën :

$$Q = \frac{\Delta T}{R_t}, \qquad (7-13)$$

ku Q është fluksi i nxehtësisë që kalon nëpër trup në njësinë e tokës (anologjinë e ka me intensitetin e rrymës elektrike).

Tabela 7-1.

Klasa e izolacionit sipas qëndrueshmërisë termike.	Materialet e përdorura	Temperatura më e madhe e lejuar e punës, në °C.
A	Fijet dhe thurjet prej pambuku / letre e mëndafshi; letra, kartoni, fibra dhe druri në qoftë se këto janë imprenjuar me lëndë organike(llake ose kompaundë). Emali i përcjellësave. Mbulesa e triacetatatatit.	105
B	Materiale me bazë mikën, fijet e xhamit, asbestin me përdorimin e materialeve ngjitëse ose imprenjuese organike (mikanite, beze xhami të llakuara etj.).	125
BC	Gjithashtu si në klasën B, por me përdorimin e lëndëve ngjitëse ose imprenjuese me bazë smolat e gliftalit.	145
CB	Gjithashtu, si në klasën B, por me përdorimin e lëndëve ngjitëse ose imprenjuese me bazë smolat siliko organike. Politetrafloretileni.	180

Klasa e izolacionit sipas qëndrueshmërisë termike.	Materialet e përdorura	Temperatura më e madhe e lejuar e punës, në °C.
C	Mika, xhami, asbesti, keramike pa përdorimin e lëndëve ngjitëse ose imprenjuese. Mikanitet me lëndë ngjitëse jo organike. Mikaleksi. Izolimi i oksidit të aluminit.	Në përdorimin e makinave elektrike nuk kufizohet.

ΔT përfaqëson ndryshimin e temperaturës midis faqes së ngrohtë dhe të ftohtë të trupit (ka analogji me tensionin elektrik).

Në këtë mënyrë formula (7-13) është në fakt ligji i Omit i zbatuar në madhësi termike. Duke shprehur Q në vat dhe ΔT në gradë, rezistenca termike do të dalë në grad/vat.

Llogaritja e rezistencës termike mund të bëhet gjithashtu sipas formulës:

$$R_t = \frac{1}{\gamma_T} \frac{a}{S} , \qquad (7\text{-}14)$$

ku: γ_T është përcjellshmëria termike e materialit;

a është gjatësia e rrugës të fluksit të nxehtësisë;

S është seksioni tërthor i trupit.

Vlerat e përcjellshmërisë të disa materialeve izoluese tregohen në tabelën 7-2.

Tabela 7-2

Lloji i dielektrikut	γ_T (W)cm. gradë)
Ajri (në shtresa të holla)	0,0005
Bitumet.	0,0007
Letra.	0,0010
Hetinaksi.	0,0035
Porcelani.	0,0160
Steatiti.	0,0220
Kuarci kristalik.	0,1250
Oksidi i aluminit.	0,3000

7-4. Cilësitë e përgjithshme fiziko-kimike të dielektrikëve

1. Densiteti dhe poroziteti. Me densitet kuptohet raporti i masës të një trupi të plotë kundrejt vëllimit të tij. Për trupat porozë përcaktohet densiteti vëllimor, d.m.th. raporti i masës së trupit kundrejt vëllimit të plotë, ku përfshihet edhe vëllimi që zënë poret. Në qoftë se shënohet me M masa e kampionit, me V vëllimi i plotë i tij dhe me V_p vëllimi i përgjithshëm i poreve në kampion, atëhere densiteti i vërtetë i materialit dhe densiteti vëllimor ρ_o do të jetë :

$$\rho = \frac{M}{V - V_o} \quad ; \quad \rho_o = \frac{M}{V} \qquad (7\text{-}15)$$

Poret mund të jenë të ndryshëm (fig.7-11).

Poret që përshkojnë materialin tejpërtej keqësojnë në mënyrë të thkesuar karakteristikat elektrike të izolacionit, sepse në ta duke hyrë ajri, ato mund të shpohen lehtë nga tensioni elektrik. Gjithashtu nëpërmjet tyre mund të kalojë uji etj. Materialet poroze përmirësojnë karakteristikat e tyre elektrike në qoftë se imprenjohen.

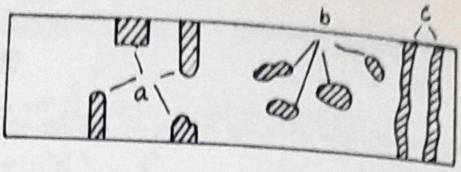


Fig.7-1. Llojet e ndryshme të poreve:
a)pore të hapur;b) pore të mbyllura;c) pore tejpërtej.

2. Tretshmëria. Kjo karakteristikë është e rëndësishme për zgjedhjen e tretsave të llakeve të ndryshme etj, si dhe për të vlerësuar qëndrueshmërinë e materialeve izoluese elektrike kundrejt lëngjeve të ndryshme me të cilat ato takohen si në procesin e prodhimit të tyre ashtu dhe gjatë shfrytëzimit.

Tretshmëria e materialeve të ngurta izoluese mund të përcaktohet ose prej sasisë së materialit që tretet në njësinë e kohës nga njësia e sipërfaqes që bie në kontakt me lëngun, ose me sasinë maksimale që mund të tretet në një tretës të dhënë, d.m.th. koncentrimi i një tretje të ngopur.

Më lehtë treten materiale që kanë cilësi të ngjashme kimike me tretsin. Një rol të rëndësishëm luan konstantja dielektrike. Materialet dielektrike polare treten lehtë në lëngjet polare, dhe ato jo polare në tretsat jopolarë. Kështu p.sh., materialet jopolare ose pak jopolare si parafina, kauçuku etj. treten në tretsat e hidrokarbureve. Smolat dipolare treten në alkool dhe në tretsa të tjerë polarë.

Tretshmëria zvogëlohet me zmadhimin e shkallës së polimerizimit. Materialet me molekula të mëdha me strukturë molekulare lineare treten relativisht më lehtë në krahasim me materialet që kanë strukturë molekulare në hapësirë. Me zmadhimin e temperaturës tretshmëria në përgjithësi rritet.

3. Aciditeti. Në vajrat, smolat etj. përcaktohet edhe aciditeti, i cili karakterizon përmbajtjen në material të acideve të lira. Kjo madhësi e cila matet me sasi-

në e hidroksidit të kaliumit (KOH) në miligram për të neutralizuar të gjitha acidet e lira që përmbahen në një gram të materialit që provohet përcakton aftësinë që ka materiali të korodojë trupat me të cilët ai bie në kontakt. Në vajin e transformatorit një aciditet i madh i tij, jo vetëm që keqëson karakteristikat elektrike, por njëkohësisht tregon se vaji është vjetruar. Normat e shfrytëzimit për vajin e transformatorit lejojnë një aciditet jo më të madh se 0,4 mg KOH/g. Në rast të kundërt vaji duhet të rigjenerohet.

KAPITULLI VIII

Roli i kurrorës dhe harkut elektrik në zbatimet praktike

8-1. Karakteristikat fizike të kurrorës.

Kurora është një nga format e shkarkimit të pavarur elektrik, e përqëndruar vetëm në një zonë të kufizuar të hapësirës midis elektrodave. Ajo, zakonisht, lind në afërsi të elektrodave me kurbaturë më të madhe, d.m.th. atje ku intensiteti i fushës elektrike ka vlerën më të madhe. Mund të çfaqet dhe në brendësi të dielektrikut të ngurët, në zona ku rastësisht mund të ndodhen gaze të mbyllura. Kurora mund të lindë në afërsi të elektrodave edhe në vaj, ose në përgjithësi në dielektrikët e lëngët. Kurora çfaqet në atë zonë ku intensiteti i fushës elektrike arrin një vlerë kritike të mjaftueshme për të jonizuar ambientin.

Intensiteti i fillimit të kurorës në ajër varet nga rrezja e kurbaturës së elektrodës. Në fig.8-1 tregohet varësia e intensitetit kritik të çfaqjes së kurorës nga rrezja e përcjellësit të brendshëm të kondesatorit cilindrik (ajër). Siç shihet, me zvogëlimin e rrezes së përcjellësit cilindrik intensiteti kritik i lindjes së kurorës zmadhohet.

Shkarkimi kurorë shoqërohet me ndriçim dhe me disa të krisura karakteristike. Me rritjen e tensionit, përtej vlerës kritike të çfaqjes së kurorës, zona e kurorës zgjerohet, ndriçimi forcohet, kurse frekuenca e zhurmave gjithashtu zmadhohet. Në zonën e kurorës ndodhin veprime kimike, si rrjedhim i të cilave, krijohen okside të azotit, ozon etj. Këto produkte kanë aftësi të madhe gërryerëse ose oksidimi në elektrodat, sidomos në lëndët

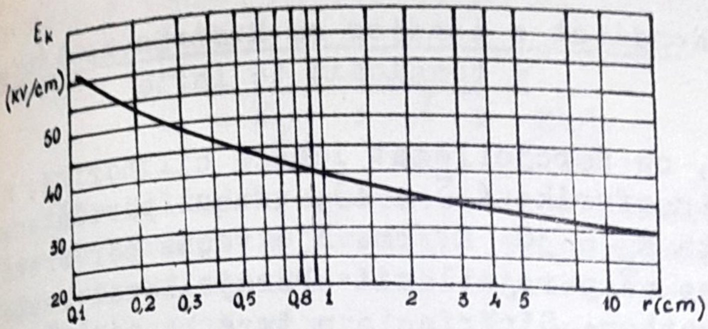


Fig. 8-1. Varësia e intensitetit të fillimit të kurorës nga rrezja e përcjellësit në kondensatorin cilindrik koncentrik.

izoluese organike.

Kurora shoqërohet me rrymë elektrike në qarkun që ushqen sistemin e elektrodave. Pra për të mbajtur kurorën në veprim, nevoitet të harxhohet energji elektrike. Në qoftë se shënohet me I_k rryma efektive e kurorës, dhe me U tensioni që vepron midis elektrodave, fuqia e harxhuar në kurorë do të jetë :

$$P_k = UI_k \qquad (8-1)$$

Fuqia e harxhuar në kurorë varet nga përmasat e saj. Në elektrodat majë-rrafsh ose majë-majë, kurora zën një vend shumë të vogël. Fuqia e harxhuar në kurorë në këto raste është jashtëzakonisht e vogël, dhe nga pikëpamja energjitike e humbjeve nuk paraqet ndonjë interes të veçantë. Por në linjat e tensionit të lartë çfaqja e kurorës në të gjithë gjatësinë e saj mund të shkaktojë humbje të ndieshme energjie. Prandaj çfaqja e kurorës në linjat e tensionit të lartë, në mënyrë të vazhdueshme, është e padëshirueshme. Të padëshirueshme janë edhe zhurmat që mund të indektohen në linjat telefonike ose radiofonike.

8-2.- Kondita e lindjes së kurorës në linjat e tensionit të lartë

Kurora, në përcjellësat idealë cilindrikë, në kondita normale atmosferike ($\delta = 1$), çfaqet për intensitetin kritik rreth $E_k = 30$ kV/cm. Kjo veçse për rreze relativisht të mëdha në përcjellësit. Përcjellësat realë nuk kanë seksion rrethor. Sipërfaqja e tyre ka një farë ashpërsie, e cila merret parasysh me anën e një koeficienti m_1, që quhet koeficienti i ashpërsimit të sipërfaqes, vlera e të cilit në linjat e tensionit të lartë është m_1 0,81... 0,98.

Në kohë me shi, kurora çfaqet për një tension më të vogël se në kohë të mirë. Ky ndikim merret parasysh me ndihmën e koeficientit të kohës m_2, vlera e të cilit është baras me 1 për kohë të mirë dhe 0,8 për kohë me shi. Duke marrë parasysh ndikimin e densitetit relativ të ajrit , intensiteti kritik i çfaqjes së kurorës në përcjellësat cilindrikë paralel me sipërfaqen e tokës ose midis tyre, mund të llogaritet me ndihmën e formulës empirike :

$$E_k = 29,8 \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{\delta r}}\right) m_1 \cdot m_2, \qquad (8-2)$$

ku: r është rrezja e përcjellësit, në cm.

E_k është intensiteti kritik i lindjes së kurorës, në kV/cm (vlera maksimale për tensionin alternativ).

Tensioni U_k, i nevojshëm për t'u çfaqur kurora, do të llogaritet sipas formulave të njohura:

Për sistemin uji fazor $U_k = 2E_k \, r \, ln \; s/r$, (8-3)

Për sistemin tre fazor $U_k = \sqrt{3}\, E_k \; r \, ln \, (s/r)$

ku S është largësia midis dy qendrave të përcjellësave cilindrikë në cm.

Formula (8-3) është e vlefshme për $s >> r$, kondite e cila në linjat e tensionit të lartë praktikisht plotsohet.

Për rastin e një përcjellësi cilindrik paralel me sipërfaqen e tokës, në lartësinë h, tensioni i lindjes së kurorës do të jetë :

$$U_k = E_k \; r \; \ell n \; 2h/r \qquad (8-4)$$

Për cilindra koncentrikë, intensiteti kritik i lindjes së kurorës në periderí të përcjellësit të brendshëm me rreze r mund të llogaritet me ndihmën e grafikut të fig.8-1, ose në mënyrë analitike, sipas formulës së afruar :

$$E'_k = 31 \delta \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta r}}\right) \qquad (8-5)$$

kurse tensioni i nevojshëm për t'u çfaqur kurora.

$$U'_k = E'_k r \; \ell n \; R/r \qquad (8-6)$$

ku R është rrezja e cilindrit të jashtëm.

8-3. Humbjet në kurorë në linjat e tensionit të lartë

Llogaritja e humbjeve të fuqisë në linjat e tensionit të lartë përbën një problem shumë të vështirë. Kjo shpjegohet me faktin se rryma e shkaktuar nga kurora nuk është sinusoidale. Ajo varet nga shumë faktorë. Shumë autorë kanë dhënë formula për llogaritjen e humbjeve në kurorë. Në praktikë ka fituar popullaritet formula e Pikut :

$$P_k = \frac{241}{\delta} (25 + f) \sqrt{r/s} \; .10^{-5} (U_e - U_k)^2, \qquad (8-6)$$

ku: P_k është fuqia e humbur në kurorë, kw/km në të tre fazet.

f është frekuenca e tensionit, në H_z;

U_k është tensioni i lindjes së kurorës, në kVef;

r, S është rrezja e përcjellësit dhe largësia mesatare midis përcjellësave, në cm.

U_e – tensioni i linjës në kVef.

Llogaritja e humbjeve në kurorë, sipas formulës (8–6), është orientuese, e vlefshme sidomos në stadin e projektimit. Përcaktimi i humbjeve në kurorë zakonisht bëhet me rrugë eksperimentale.

Formula (8–6) tregon se humbjet në kurorë mund të zvogëlohen duke zmadhuar tensionin kritik të lindjes së kurrorës U_k, ose duke zmadhuar largësinë midis përcjellësave (Δ).

Nga pikëpamja praktike humbjet në kurorë ose në përgjithësi moslejimi i çfaqjes së kurorës, luftohet duke zmadhuar rrezen e përcjellësit r (shih formulën 8–3).

Zmadhimi i rrezes së përcjellësit mund të realizohet :

1) duke përdorur përcjellësa alumini;
2) përcjellësa në formë tubi (fig.8–2(a);
3) duke ndarë përcjellësin e fazës në disa përcjellësa (fig.8–2 (b).

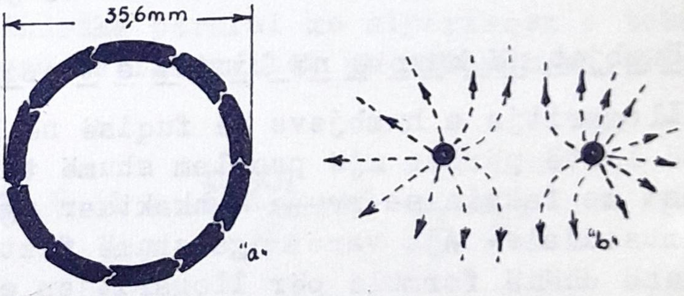


Fig.8–2. Përcjellësa për të luftuar çfaqjen e kurorës në linjat e tensioneve të larta. a) përcjellës cilindrik, b) dy përcjellësa në fazë.

Përcjellësat prej alumini, për të njëjtën rezistencë elektrike, kanë rreze më të madhe në krahasim me përcjellësat prej bakri. Kjo është arësyeja kryesore që në linjat e tensioneve të larta zakonisht përdoren përcjellësa alumini.

Kur tensioni është shumë i lartë, dhe rrezja e përcjellësit më të madh ekzistues, nuk e largon kurorën,

mund të përdoren ose përcjellësa në formë tubi, me qëllim që të rritet diametri për të njëjtin seksion efektiv të përcjellësit, ose përcjellësi e fazës të realizohet me disa përcjellësa, zakonisht me dy, me tre ose shumë rrallë me katër. Në fig.8-2(b) tregohet fusha elektrike e sistemit me dy përcjellësa. Sikurse shihet, vijat e intesitetit të fushës elektrike rrallohen në krahasim me përcjellësin e vetmuar. Pra intesiteti maksimal i fushës elektrike zvogëlohet. Kjo vepron njëlloj sikur diametri i përcjellësit efektiv të zmadhohet. Të dy rastet e fundit përdoren në linjat me tension 220 kV. e sipër.

8-4.- Zbatime praktike të shkarkimit kurorë

Një nga përdorimet e rëndësishme të shkarkimi kurorë në praktikë është pastrimi i gazeve nga papastërtitë. Shpesh del problemi i pastrimit të ajrit nga papastërtitë e ndryshme që lindin prej objekteve të ndryshme industriale, ose në zona që kanë shumë pluhur. Papastërtitë, të cilat enden në gjendje të varur në ajër, mund të dëmtojnë shëndetin e njerëzve, të prishin proçese të ndryshme teknologjike, të shkaktojnë papastërtimin e objekteve të ndryshëm, etj.

Përmasat e grimcave të këtyre papastërtive varen nga natyra e përbërjes së tyre. Në tab.8-1 jepet diametri i disa papastërtive që takohen më shpesh në praktikë.

Tabela 8-1

Lloi grimcës	Diametri në μ m.	Lloi grimcës	Diametri në μ m/.
Tym duhani...	0,01............0,1	Oksid zinku.	0,3.....10,0
Mjegull vaji..	0,05..........1,0	Pluhur çimentoje	3.......100
Bloza.......	0,5........... 1,0	Pluhur linjiti.	50..... 150
Mjegull uji..	2,0..........10,0	-	-

Ajri i qyteteve në gjëndjen të zakonshme përmba rreth 0,51 mg/m^3 pluhur ose rreth 815 grimca në çdo cm. Rreth 51% e tyre përbëhet prej hidrokarbureve, 35% prej hirit, rreth 12% prej oksideve të siliçiumit dhe 2% prej oksideve të hekurit. Shumica e këtyre grimcave kanë diame tër të rendit 0,58 μ m. Vetëm një përqindje e vogël e tyre kalon vlerën 1,5 μm.

Pastrimi i ajrit kryhet zakonisht me ndihmën e filtrave elektrostatikë. Në fig.8-3 tregohet skema parimore e një filtri të tillë. Ai përbëhet prej një cilindri metalik 1, që ka potencialin e tokës. Në boshtin e tij vendoset një përcjellës cilindrik, me diametër D dhe me gjatësi L. Gjatë punës përcjellësi ndodhet nën tensioni të vazhduar me polaritet negativ.

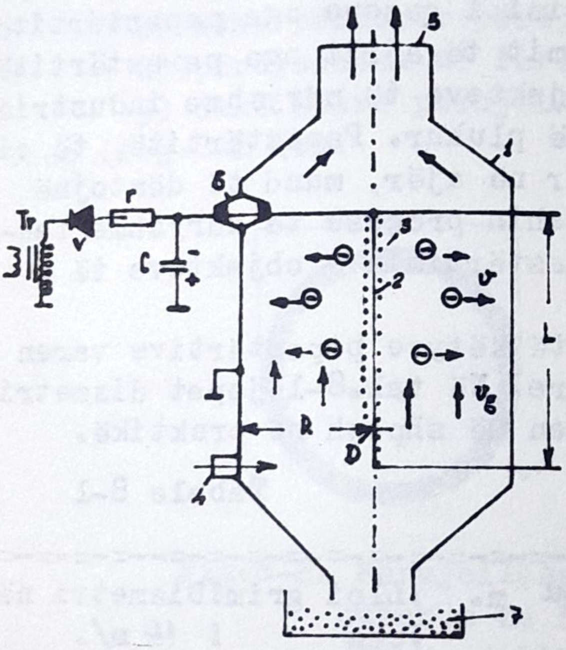


Fig.8-3.Filtër elektrostatik për pastrimin e gazeve.

Ushqimi i përcjellësit të punës bëhet me ndihmën e burimit të rrymës së vazhduar, që zakonisht mund të fitohet duke drejtuar rrymën alternative. Përcjellësi i punës ushqehet nëpërmjet izolatorit kalimtar 6. Madhësia e tensionit duhet të jetë e tillë që të çfaqet shkarkimi kurorë, por me konditë që të mos ndodhë shkarkimi i plotë. Tensioni i nevojshëm për çfaqjen e kurorës, mund të llogaritet sipas formulës (8-6). Kurora bëhet burim jonesh. Jonet pozitive neutralizohen në katodë, d.m.th. në përcjellësin cilindrik, kurse elektronet, duke lëvizur në drejtim të faqes së brendshme të cilindrit kryesor (anoda), bashkohen me molekulat neutrale të ajrit dhe formojnë jone negative. Pra në drejtimin radial do të ketë lëvizje jonesh negative, të cilat

neutralizohen në anodë.

Në filtër hyn prej dritares 4 gazi që duhet pastruar. Gazi në cilindër lëviz nga poshtë lart me një farë shpejtësie v_g dhe del prej oxhakut 5. Thërmiat e gazit, sidomos ato të papastërtive, gjatë lëvizjes në filtër, ndikohen nga fusha elektrike e kondensatorit cilindrik koncentrik. Papastërtitë në fushën elektrike polarizohen (fig 8-4).

Jonet negative që lëvizin në drejtimin radial të cilindrit, mund të tërhiqen prej ngarkesave pozitive të shkaktuara nga polarizimi i thërmiave të papastërtive. Pra thërmiat e papastërtive do të ngarkohen negativisht gjatë rrugës së tyre.

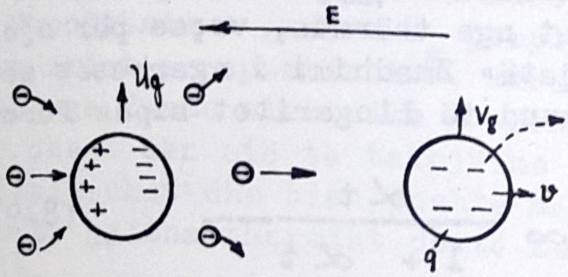


Fig.8-4. Procesi i ngarkimit të thërmiave në fushën elektrike ku lëvizin jone negatike.

Sasia e ngarkesave elektrike që mund të marrë një thërmijë papastërtie varet nga ngarkesa e polarizimit. Këto nga ana e tyre varen nga diametri i thërmijës ρ, nga madhësia e intesitetit të fushës në zonën ku ndodhet thërmia si dhe nga konstantja dielektrike ε_r e thërmijës.

Sasia maksimale e ngarkesës që mund të marrë një thërmijë me diametër ρ, me konstante dialektrike ε_r, që ndodhet në fushë elektrike me intensitet E, me kondité që ambienti ku lëviz thërmia të ketë jone negative në sasi të mjaftueshme, mund të llogaritet sipas formulës:

$$q_{\infty} = \rho^2 \left(1 + 2\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2}\right) E \qquad (8\text{-}7)$$

ku njësitë e matjes së q, ρ dhe E merren sipas sistemit (cgses).

Formula (8-7) është e vlefshme për thërmia me diametër $\rho > 1 \mu m$. Për $\rho \leq 1 \mu m$. ngarkesa që mund të vendoset në thërmijë mund të llogaritet, sipas formulës :

$$q_{\infty} = 2.10^6 . \rho . e, \qquad (8\text{-}8)$$

ku e është ngarkesa e elektronit, në (cgses).

Ngarkesa e vendosur q_{∞} për të dy rastet e përmëndura mund të fitohet nga thërmia, veçse për një farë kohe pak a shumë të gjatë. Zmadhimi i ngarkesës së thërmijës në varësi të kohës mund të llogaritet sipas formulës :

$$q(t) = q_{\infty} \frac{\alpha t}{1 + \alpha t}, \qquad (8\text{-}9)$$

ku

$$\alpha = \pi e N_j \cdot k_j \qquad (8\text{-}10)$$

N_j - përfaqëson përqëndrimin e joneve negative (jone/cm^3), kurse k_j - përfaqëson lëvizshmërinë e joneve negative (cm^2/V.sek) njësitë gjithmonë në sistemin (cgses).

Thërmiat e ngarkuara negativisht do të tërhiqen prej anodës. Forca elektrike që vepron mbi thërmijën e ngarkuar do të jetë:

$$F = q E \qquad (8\text{-}10)$$

Si rrjedhim i kësaj force, thërmia do të kryejë lëvizje edhe në drejtimin radial. Shpejtësia në drejtimin radial që mund të marrë thërmia nën ndikimin e fushës elektrike, do të varet nga lëvizshmëria e thërmijës (jonit të

madh):

$$v = k_m^- . E \qquad (8\text{-}12)$$

Lëvizshmëria e thërmiave varet nga viskoziteti i gazit, nga diametri i thërmijës dhe nga ngarkesa elektrike që zotëron thërmia. Llogaritja mund të kryhet sipaf formulës:

$$k_m^- = \frac{q}{6\pi\eta . \rho}, \qquad (8\text{-}13)$$

ku η është viskoziteti i gazit. Kur thërmiat lëvizin në ajër, vlen $\eta = 1{,}1.10^{-4}$ (cgses).

Rruga që do të ndjekin thërmiat e papastërtive do të jetë e përkulur në drejtim të mureve të brendshme të filtrit. Shpejtësia e gazeve v_g përpiqet t'i nxjerë jashtë filtrit thërmiat e papastërtive, kurse shpejtësia radiale v e fituar nga fusha elektrike e përkulur trajektoren e thërmijës dhe e bën atë të takojë me cilindrin. Atje thërmija neutralizohet dhe bien poshtë në enën 7. Është e qartë se jo të gjitha thërmiat do të kapen nga filtri elektrostatik.

Një pjesë e papastërtive do të largohen prej filtrit. Duke shënuar me N_o numrin e thërmiave të papastërtive që hyjnë në njësinë e kohës në filtër dhe me N numrin e atyre që dalin, provohet se:

$$N = N_o e^{-\frac{2vL}{v_g R}}, \qquad (8\text{-}14)$$

ku: v_g është shpejtësia e lëvizjes së gazeve në filtër ndërsa

v është shpejtësia e thërmiave të papastërtive, e llogaritur sipas formulës(8-12).

Rendimenti i filtrit do të jetë :

$$\eta_f = \frac{N_o - N}{N_o} = 1 - e^{-\frac{2v.L}{v_g.R}} \qquad (8\text{-}15)$$

Siç shihet, rendimenti i filtrit zmadhohet duke rritur gjatësinë e përcjellësit me kurorë, dhe duke zvogëluar rrezen e filtrit. Gjithashtu duke zmadhuar v, si rrjedhim intensitetin e fushës elektrike apo tensionin e filtrit, rendimenti i filtrit rritet. Rritja e rendimentit mund të bëhet edhe duke zvogëluar shpejtësinë e daljes së gazeve v_g, por këto kërkesa mund të jenë kontradiktore nga pikëpamja e zgjidhjes tekniko-ekonomike. Prandaj karakteristikat e filtrit duhet të zgjidhen sipas rastit konkret.

Rryma në filtër, e shkakëtuar nga kurora, mund të llogaritet në mënyrë të afruar sipas formulës së Taunsendit (për rastin e kondensatorit cilindrik koncentrik):

$$i = \frac{222\, k_j (U - U_k) \cdot U}{R^2 \, \ell g \, 2R/D}; \qquad (8\text{-}16)$$

ku: U është tensioni i zbatuar midis elektrodave, në kV.
U_k është tensioni i lindjes së kurorës, në kV;
i është rryma e kurorës, në $\mu A/m$;
k_j- është lëvizshmëria e joneve, në $cm^2/V.sek$.

Duke ditur rrymën në filtër, mund të llogaritet edhe fuqia e konsumuar nga filtri.

$$P = U.i = \frac{222.k_j (U - U_k) U^2}{R^2 \, \ell g \, 2R/D} \qquad (8\text{-}17)$$

Tensioni i fillimit të kurorës (U_k) ndikohet nga prania e papastërtive. Në diagramet e fig.8-5 dhe 8-6 tregohet ndikimi i papastërtive të ndryshme për përcjellësa cilindrikë me diametër të ndryshëm. Në këto diagrama tregohet përcjellshmëria elektrike e filtrit (i/U) në njësinë e gjatësisë nga tensioni i punës (U).

Kështu, papastërtitë zmadhojnë tensionin e lindjes së kurorës. Me rritjen e rrezes së përcjellësit, zmadhohet tensioni i punës për të fituar kurorë me të njëjtën rrymë.

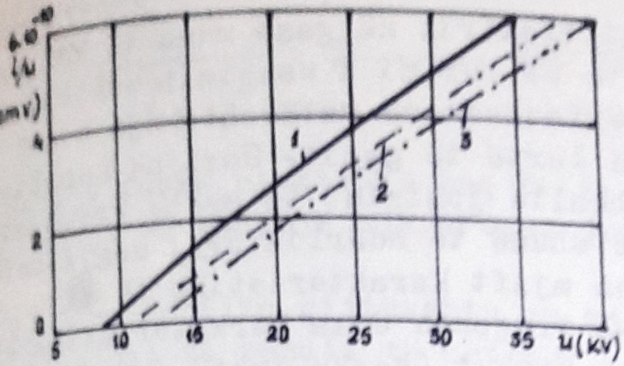


Fig.8-5. Ndikimi i llojit të papastërtive në përcjellshmërinë e kurorës(kondensator koncentrik cilindrik, rrezja e përcjellësit 0,15 mm); 1) ajër i pastër;2) tym i furnaltave; 3) hi.

Shkarkimi kurorë mund të gjejë zbatime të shumëllojshme në praktikë. Kurora mund të shërbejë për të rritur përqëndrimin e joneve në një ambient. Kurora mund të shërbejë si gjenerator ozoni, i cili ka veti të mëdha oksiduese, prandaj në parimin e veprimit të shkarkimit kurorë mund të ndërtohen ozonizatorë, që përdoren në shumë proçese industriale.

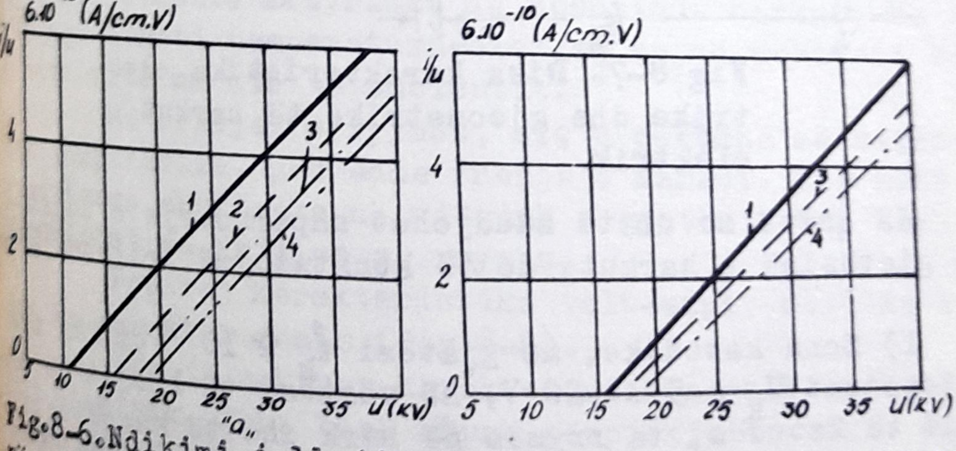


Fig.8-6.Ndikimi i llojit të papastërtive në përcjellshmërinë e kurorës:
1) ajër i pastër;2)tym i furnaltave;3)hi;4)pluhur çimentoje;a) përcjellës me rreze 0,3 mm;b) përcjellës me diametër 0,95 mm.

8-5 .- Karakteristikat e harkut elektrik

Shkarkimi elektrik në gaze mund të kalojë në hark elektrik, në qoftë se burimi i ushqimit është i fuqishëm. Harku elektrik përfaqëson në vetëvehte një kanal cilindrik me temperaturë të lartë të gazit. Gazi në kanalin e harkut ndodhet në një shkallë jonizimi të madh. Proceset që ndodhin në hark janë shumë të ndërlikuara, megjithatë, në kohën e sotme njihen mjaft karakteristika të tij.

Në fig. 8-7 tregohen disa karakteristika elektrike dhe gjeometrike të harkut (harku është marrë në formën e një cilindri statik në fakt, sikurse do të analizohet më poshtë, harku merr forma të shrregullta).

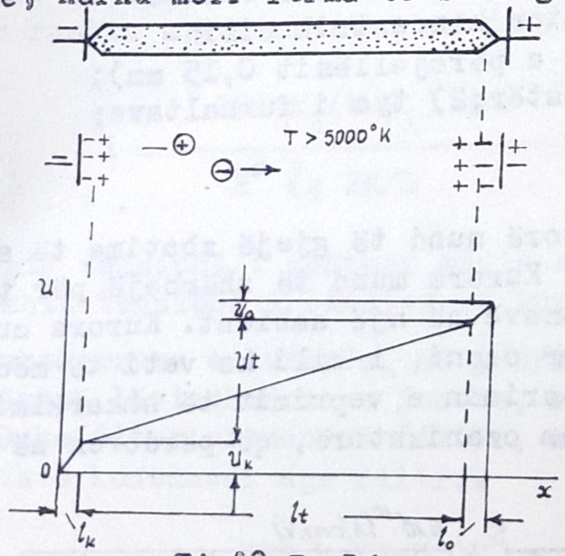


Fig. 8-7. Disa karakteristika elektrike dhe gjeometrike të harkut elektrik.

Në qoftë se do të studjohet shpërndarja e tensionit në gjatësinë e harkut, do të konstatojmë tri zona kryesore.

1) Zona katodike, me gjatësi $l_k \cong 10^{-4}$ cm. ka një rënje tensioni $U_k = 5 \ldots 20$ V, në vartësi të llojit të materialit të katodës, të rrymës në hark dhe të karakteristikave fizike të gazit. Intensiteti i fushës elektrike në zonën katodike do të jetë:

$$E_k = \frac{U_k}{\ell_k} \cong 50 \;\ldots\ldots\; 200 \text{ kV/cm.}$$

Në një fushë elektrike kaq të fuqishme, në zonën katodike, duhet të veprojë një proces jonizimi i fuqishëm në gaz.

2) Zona anodike gjithashtu me gjatë $\ell_a \cong 10^{-4}$ cm, me rënje tensioni të rendit të katodës.

3) Gjatë trupit të harkut gradienti i tensionit është praktikisht konstant. Madhësia e këtij gradienti varet kryesisht nga rryma.

$$E_t = 10 \;\ldots\ldots\; 20 \text{ V/cm.}$$

Pra në trupin e harkut fusha elektrike është aq e dobët sa nuk mund të bëhet fjalë për jonizim me përplasje, si në katodë ose në anodë.

Shkarkimi i pavarur në trupin e harkut mbahet kryesisht nga procesi i jonizimit termik. Jonizimi termik ndodh për shkak të temperaturës mesatare të lartë që ka harku : $T > 5000^{o}$K.

Sa më e madhe është rryma elektrike që përshkon harkun aq më e lartë është temperatura e tij. Temperatura më e lartë është natyrisht në boshtin e harkut. Me largimin nga boshti temperatura ulet aq sa në periferi bëhet e barabartë me atë të ambientit.

Me rritjen e rrymës, siç u përmend më sipër, rritet temperatura, pra edhe rrezja e harkut. Për këtë arësy rezistenca elektrike në njësinë e gjatësisë së harkut zvogëlohet me rritjen e rrymës.

Prandaj karakteristika volt-amper statike e harkut ka karakter rënës (fig.8-6).

Për të caktuar karakteristikën volt-amper të harkut elektrik. janë bërë shumë përpjekje teorike. Formula që ka dhënë përfundime më të mira në përputhje me të dhënat eksperimentale ka formën :

$$E = AI^{-n} \qquad (8\text{-}18)$$

Konstantja n varet nga madhësia e rrymës, por në intervale rryme të caktuara eksperienca tregon se mund të konsiderohet e pandryshueshme.

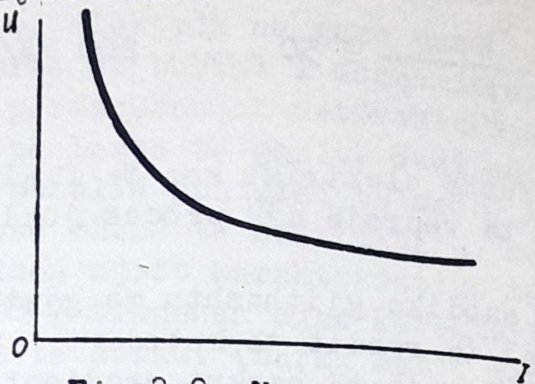


Fig.8-8. Karakteristika volt-amper statike e harkut elektrik.

Për rryma nga 100... 1000 A mund të pranohet n ≅ 0,25, n ≅ 0. për rryma më të mëdha se 1000 A. Për rryma t më të vogla se 5A mund të marrë vlera dhe deri në 0,5, kurse në kufirin nga 5 deri në 100 A mund të pranohet n ≅ 0,30.

Për rryma alternative temperatura gjatë një gjysmëperiodeje do të ndryshojë, si rrjedhim do të ndryshojë edhe rezistenca në njësinë e gjatësisë harkut. Në fakt për shkak të inercisë termike të harkut ndryshimi i tensionit në skajet e tij do të marrë forma të ndryshme, ne pjesën rritëse dhe ulëse të rrymës, (shih fig.8-9). Sa më e madhe është rryma në hark aq më tepër ndikon inercia termike e harkut. Në fig. 8-9 (a) tregohet rasti për rryma të vogla, ose për rryma të mëdha, kur harku ftohet intensivisht, kurse në fig 8-9(b) tregohet rasti për rryma të mëdha pa ftohje të harkut. Sikurse shihet në këtë rast rezistenca e harkut ndryshon shumë pak gjatë gjysmëperiodës së rrymës, e cila shkakton që tensioni pothuaj të qëndrojë sinuisoidal.

Duke analizuar fig.8-7 konstatojmë se tensioni në skajet e harkut ka tri komponente :

$$U_h = U_t + U_k + U_a \qquad (8\text{-}19)$$

Në qoftë se gjatësia e harkut është shumë e madhe, rrënjët ($U_k + U_a$) do të jenë shumë të vogla në krahasim

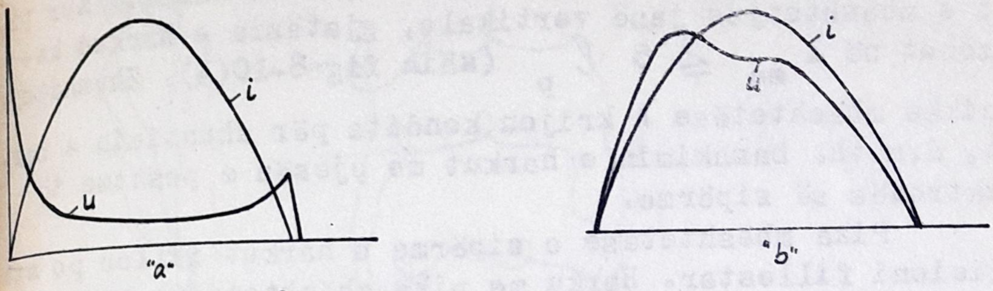


Fig. 8-9. Ndryshimi i tensionit në skajet e harkut për rrymë sinusoidale:
a) për dejonizim intensiv; b) dejonizimi i dobët.

sim me U_t.

Prandaj do të vlejë $U_h \cong U_t$. Në këtë rast flasim për në hark të gjatë. Praktikisht harku i gjatë çfaqet gjatë lidhjeve të shkurtra në linjat e tensionit të lartë gjatë mbulimit të izolatorëve të ndryshëm, në çelsat me vaj, në ndarset etj.

Kur gjatësia e harkut është shumë e vogël, rënja e tensionit në trupin e tij mund të mos merret parasysh kundrejt rënjeve të tensionit në afërsi të elektrodave. Në këtë rast do të vlejë $U_h \cong U_a + U_k$ dhe harku quhet i shkurtër. Hark të shkurtër kemi në mjaft aparate elektrike, si p.sh. në hapësirat xixë të shkarkuesave, në automatët e shuarjes së fushës me fryrje magnetike, etj.

8-6.-Karakteristikat e harkut elektrik të hapur

Hark i hapur quhet ai i cili formohet në ajër, me kondítë që trupi i tij të mos ndikohet nga veprime speciale që nxitojnë procesin e shuarjes.

Një nga parametrat kryesore të harkut të hapur është gjatësia e tij. Karakteristike për harkun e hapur është zmadhimi i gjatësisë së harkut në varësi të kohës.

Me kalimin e kohës harku zgjatet, por vlera maksi-

male e zgjatimit të tij është e kufizuar. Në zgjatimin e harkut ndikon veprimi i erës. Zgjatimi i harkut bëhet afërsisht me shpejtësinë e erës. Ndikim të madh në zgjatimin e harkut ushtrojnë pikat e mbështetjes së harkut. Kur pikat e mbështetjes janë vertikale, gjatësia e harkut kufizohet në $l_{ma} \leq 5\,\ell_p$ (shih fig.8-10(a). Zhvendosja e pikës mbështetëse A krijon kondita për shuntimin e harkut, d.m.th. bashkimin e harkut me pjesën e poshtme të elektrodës së sipërme.

Pika mbështetëse e sipërme e harkut fillon po nga pozicioni fillestar. Harku me pika mbështetjeje horizontale (fig.8-10 (b) mund të zgjatet deri në $\ell_{maks} \cong 20\,\ell_o$.

Lëvizja e harkut nga poshtë lart shkaktohet nga veprimet termike. Ajri i nxehtë (plazma) ka densitet më të vogël se ajri rrethues. Shpejtësia e ngjitjes është e rendit 1 m/sek. Përveç zgjatimit të shkaktuar nga ngjitja sipër, harku mund të zgjatet edhe për shkak të veprimit të forcave elektrodinamike. Forcat elektrodinamike i japin harkut (fig 8-11) formën e një spirali të çrregullt. Shkaku i formimit të leqeve në hark shpjegohet me aftësinë që kanë qarqet induktive të zmadhojnë në maksimum induktivitetin e tyre. Si një solenoid, që për shkak të forcave elektrodinamike ngushtohet ose shtypet për të zmadhuar induktivitetin, ashtu edhe harku krijon leqe për të zmadhuar induktivitetin. Por veprimi i forcave termike dhe elektrodinamike bën që një pjesë e leqeve të shuntohen dhe si rrjedhim të shuhen. Në këtë mënyrë disa leqe krijohen dhe disa të tjera shuhen.

Studimi fotografik i harkut ka treguar se gjatësia reale e tij është afërsisht dy herë më e madhe se ajo që duket me sy.

Në laboratorin e tensioneve të larta të USHT janë kryer një seri provash me harkun e hapur për të caktuar konditat e vetëshuarjes së tij. Në fig. 8-12 tregohet harku i rrymës alternative në një girlandë me izolatorë vartës, me tension 6 kV dhe me rrymë 45A.

Nga përpunimi i oscilogrameve të nxjerra nga ky studim, mund të nxirret ndryshimi i gjatësisë së harkut në vartësi të kohës.

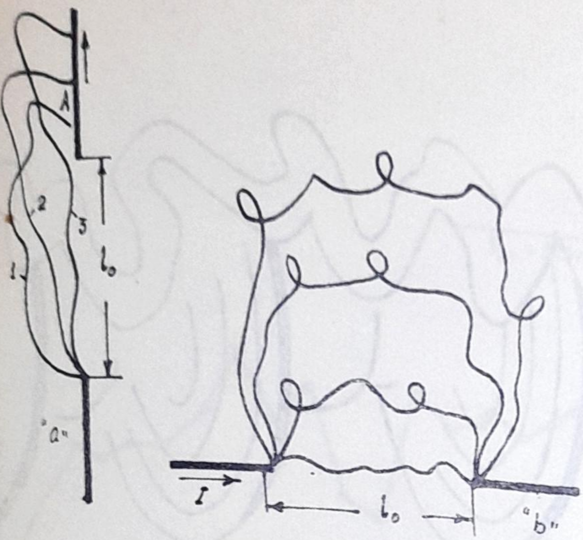


Fig. 8-10. Kondiṭat e ngjitjes së harkut për elektroda vertikale "a" dhe horizontale "b".

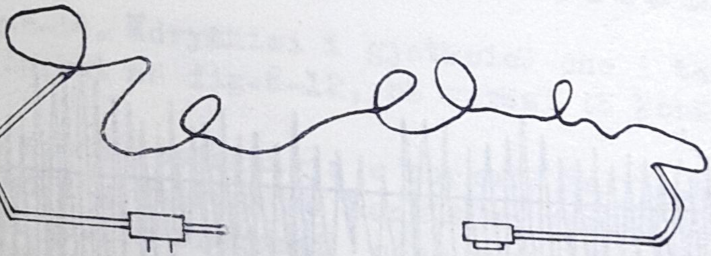


Fig. 8-11. Hark horizontal me rrymë alternative 45A(50 H_z) dhe me tension 6,3kV. Marrë nga laboratori i tensioneve të larta pranë USHT, ekspozimi 1/500 sek.

Në fig. 8-13 tregohet oscilogrami i tensionit në skajet e harkut që tregohet në fig. 8-12.

Siç shihet nga oscilogrami i fig. 8-13, tensioni në skajet e harkut zmadhohet kundrejt vlerës fillestare, por në çaste të ndryshme ndodhin ulje të theksuara ten-

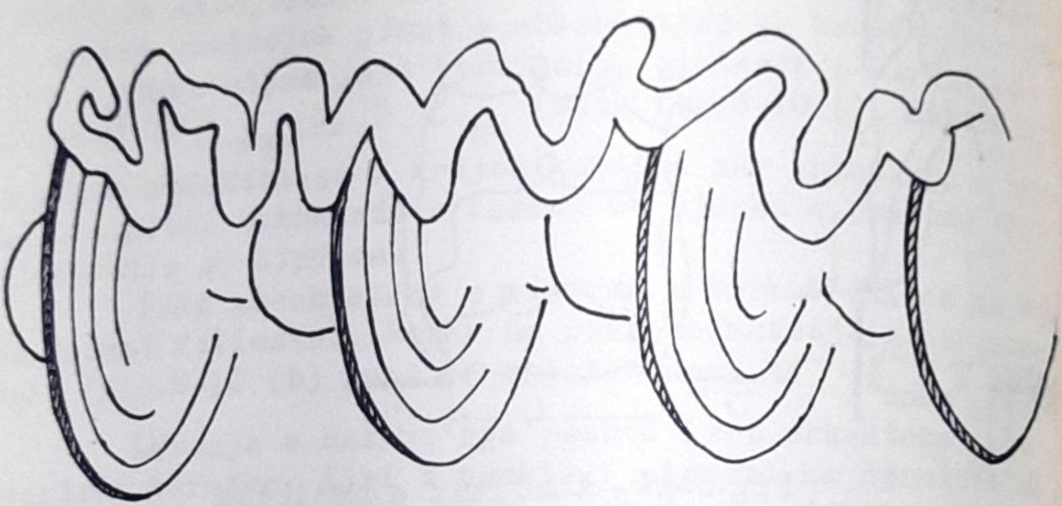


Fig.8-12. Hark i rrymës alternative në girlandë me izolatorë vartës (45A;6,3 kV). Marrë nga LTL të USHT, ekspozimi 1/500 sek.

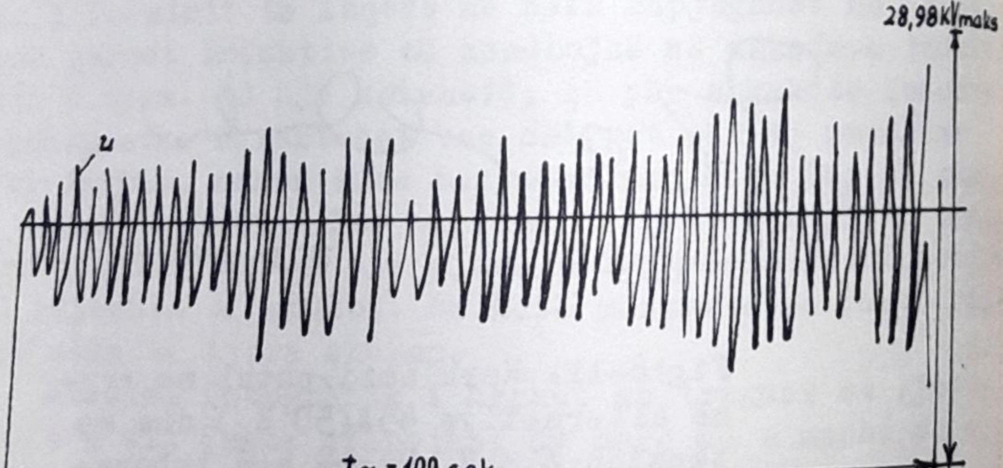


Fig.8-13. Oscilogrami i tensionit në skajet e harkut që tregohet në fig.8-12. Koha e vetëshuarjes është afro 1 sek.

sioni.

Këto ndryshime i detyrohen shuntimeve të leqeve ose të një pjese të madhe të harkut. Megjithatë, tendenca e tensionit është gjithmonë në rritje. Kur gjatësia merr vle-

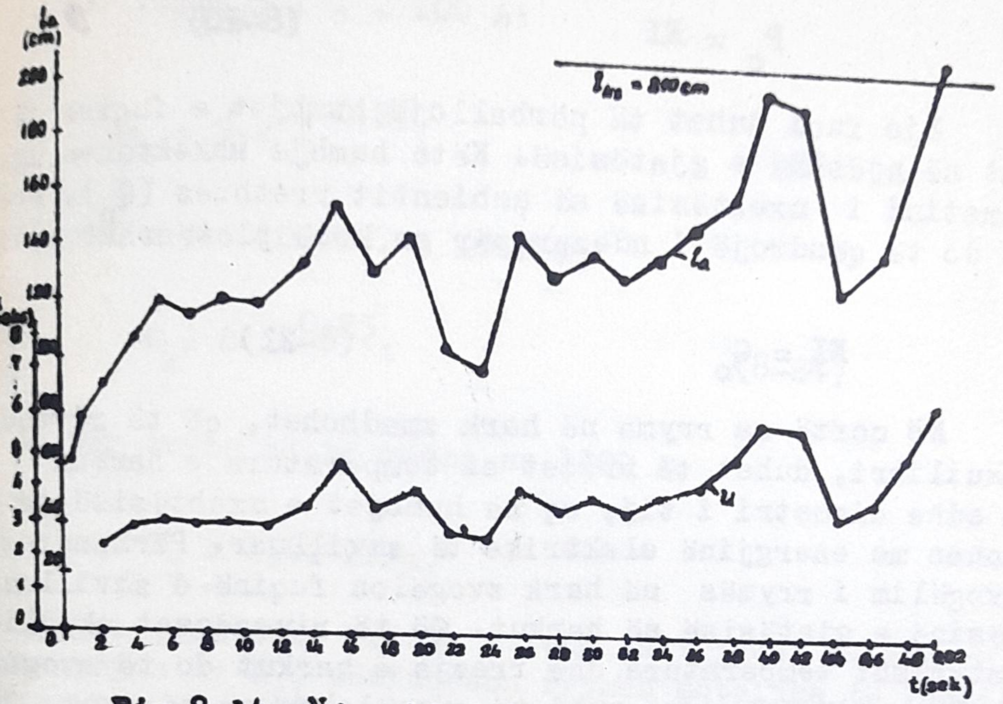


Fig.8-14. Ndryshimi i gjatësisë dhe i tensionit të harkut në fig.8-12, në varësi të kohës.

rën kritike ndodh vetëshuarja e harkut. Në fig.8-14 tregohet ndryshimi i gjatësisë së harkut në varësi të kohës. Tek i njëjtë grafik tregohet edhe ndryshimi përkatës i tensionit. Të dy kurbat i përkasin eksperimentit të fig. 8-12. Siç shihet; gjatësia e harkut me kalimin e kohës rritet por në çaste të ndryshme ajo zvogëlohet. Kjo ndodh në çastin e shuntimit të pjesëve të ndryshme të harkut. Kur gjatësia e harkut fiton gjatësinë kritike (në rastin që analizohet gjatësia kritike është rreth 210 cm), harku humbet qëndrueshmërinë e tij dhe vetëshuhet.

8-7.- <u>Konditat e vetëshuarjes së harkut të hapur</u>

Harku elektrik mund të qëndrojë për kohë të gjatë në ambient të hapur (në ajër), në qoftë se ruhet bilanci energjitik. Le të marrim në shqyrtim një gjatësi të caktuar të harkut, p.sh. një cm. Në skajet e këtij elementi njësi, do të veprojë gradienti i fushës elektrike E. Në

qoftë se shënohet me I rryma që përshkon harkun, në çdo centimetër të harkut do të zhvillohet fuqia elektrike:

$$P_o = EI \qquad (8-20)$$

Kjo fuqi duhet të përballojë humbjet e fuqisë së harkut në njësinë e gjatësisë. Këto humbje shkaktohen nga transmetimi i nxehtësisë së ambientit rrethues (Q_o). Pra harku do të qëndrojë i ndezur për sa kohë plotësohet kondita:

$$EI = Q_o \qquad (8-21)$$

Në qoftë se rryma në hark zmadhohet, që të rivendoset ekuilibri, duhet të rritet si temperatura e harkut ashtu edhe diametri i tij, aq sa humbjet e nxehtësisë të barazohen me energjinë elektrike të zhvilluar. Përkundrazi, një zvogëlim i rrymës në hark zvogëlon fuqinë e zhvilluar në njësinë e gjatësisë së harkut. Që të rivendoset ekuilibri natyrisht temperatura dhe rrezja e harkut do të zvogëlohet. Por, ndërsa rryma mund të zvogëlohen sa të duam, rrezja dhe sidomos temperatura e harkut nuk mund të zvogëlohen sipas dëshirës. Me uljen e temperaturës përtej një kufiri kritik, proceset e dejonizimit në hark zhvillohen aq shumë sa rezistenca e harkut fillon të zmadhohet me shpejtësi të madhe. Zmadhimi i rezistencës së harkut shkakton zvogëlimin e mëtejshëm të rrymës në qarkun elektrik që ushqen harkun. Me fjalë të tjera, për një rrymë kritike harku bëhet i paqëndrueshëm, dhe si rrjedhim ai vetëshuhet.

Eksperienca tregon se për një rrymë të caktuar, I, ekziston një gradient tensioni kritik E_k, për të cilin harkun vetëshuhet.

Për rrymën alternative sinusoidale me frekuencë industriale, gradienti kritik mund të llogaritet sipas një formule të ngjashme me atë (8-16):

$$E_k = A_k I^{-n_k} \qquad (8-22)$$

Konstantet A_k dhe n_k varen nga rryma, por ato mund të pranohen konstante në intervale të caktuara të rrymës. Mund të rekomandojmë për përdorime praktike formulat (të

nlefshme për qarqet reaktive ose afërsisht reaktive);

1) për rryma 5 . . . . 100 A:

$$E_k = 9,2\ I^{-0,29};\qquad (8\text{-}23)$$

2) për rryma 100 . . . . 1000 A;

$$E_k = 8\ I^{-0,25};\qquad (8\text{-}24)$$

3) për rryma më të mëdha se 1000 A;

$$E_k = 1,42\ kV/m,$$

ku gradienti kritik i tensionit jepet në kVef/m, ndërsa rryma në A_{ef} përfaqëson rrymën metalike të lidhjes së shkurtër, d.m.th. rrymën që jep qarku elektrik kur skajet e harkut bashkohen metalikisht.

Le të analizojmë kondiitat praktike të vetëshuarjes së harkut. Sipas fig.8-12, në çastin fillestar harku kishte gjatësinë minimale. Me kalimin e kohës gjatësia e harkut zmadhohet. Rezistenca e tij gjithashtu do të rritet. Rryma në qark do të zvogëlohet. Kur harku fiton një gjatësi kritike, ai vetëshuhet.

Gjatësia kritike e harkut përcaktohet në kondiitat e shuarjes së harkut. Në qoftë se shënohet me U tensioni në skajet e harkut të shuar, atëhere gjatësia kritike e harkut do të jetë :

$$\ell_k = \frac{U}{E_k}\qquad (8\text{-}25)$$

p.sh. harku i figurës 8-12 ka patur rrymën metalike të lidhjes së shkurtër 45 A, kurse tensionin në skajet e harkut të shuar e ka patur, 6,3 kV.

Duke shfrytëzuar formulën (8-23), mund të llogaritim gradientin kritik të tensionit :

$$E_k \cong 9{,}2 \cdot 45^{-0{,}29} \cong 3 \text{ kVef/m.},$$

pra gjatësia kritike e harkut do të jetë :

$$\ell_k = 6{,}3/3 = 2{,}1 \text{ m.}$$

Në qoftë se analizojmë fig.8-14, do të konstatojmë se harku vetë shuhet pikërisht për gjatësinë rreth 2,1 m.

8-8.- Dejonizimi i harkut në linjat e tensionit të lartë

Lidhjet e shkurtëra në linjat e tensionit të lartë, në shumicën e rasteve, shoqërohen me hark elektrik. Në qoftë se hiqet tensioni plotësisht nga linja, harku shuhet. Pas një kohe të shkurtër si rrjedhim i ribashkimit të joneve kolona e harkut dejonizohet Kur linja vihet përsëri nën tension, harku në vendin e lidhjes së shkurtër mund të rindizet ose jo. Kjo varet në se ishkolona e harkut e ka fituar ose jo qëndrueshmërinë elektrike përkatëse, gjë që varet nga koha prej çastit të shuarjes së harkut deri në çastin e ridhënjes së tensionit. Në sistemet elektrike, për arësye të qëndrueshmërisë, kërkohet që koha pa tension të jetë sa më e vogël. Por koha minimale e ridhënjes, së tensionit varet nga koha e dejonizimit të harkut. Prandaj përcaktimi i kësaj kohe ka rëndësi shumë të madhe praktike. Zgjidhja e këtij problemi mund të realizohet në qoftë se njihet procesi i rigjenerimit të izolacionit të ishkolonës së harkut në çastin e shuarjes së tij. Këtë problem e ka studjuar Majer, nga teoria e të cilit rezulton se tensioni i rigjeneruar në hark (tensioni i nevojshëm për të rindezur harkun) mund të llogaritet sipas formulës :

$$U_d = 16\, \ell_{maks}\, e^{\frac{200t}{\sqrt{I}}}, \qquad (8\text{-}26)$$

ku:

l_{maks} është gjatësia maksimale e harkut në çastin e shuarjes në m;

I është rryma e lidhjes së shkurtër metalike në vendin e lidhjes së shkurtër, në A_{ef};

t është koha prej çastit të ndërprerjes së rrymës në hark deri në çastin kur llogaritet qëndrueshmëria e ishkolonës së harkut, në sek;

U_d është tensioni i nevojshëm i shpimit të ajrit gjatë rrugës së ishharkut elektrik, në kV_{ef}.

Formula (8-26) është vërtetuar edhe në mënyrë eksperimentale.

Në figurën 8-15 tregohen vartësitë e gradientit të shpimit të ishharkut elektrik nga koha e filluar prej çastit të heqjes së plotë të tensionit. Llogaritjet janë kryer sipas formulës 8-24, për vlera të ndryshme të rrymës elektrike që përshkonte harkun.

Siç shihet, qëndrueshmëria elektrike e kanalit, në fillim, ritet ngadalë dhe pastaj më shpejt. Rol të madh luan rryma në hark. Me zmadhimin e rrymës koha e dejonizimit rritet.

Eksperimentet kanë treguar se një farë ndikimi ushtron edhe koha e djegjes së harkut. Me zmadhimin e kësaj kohe, rritet intervali i kohës së nevojshme për dejonizimin e kolonës së harkut. Kjo ndodh sepse zona ku ndodh harku nxehet shumë, prandaj ulja e temperaturës pas heqjes së plotë të tensionit, në një farë shkalle vonohet. Prej këtej rrjedh se lidhjet e shkurtëra duhet të eliminohen me kohë sa më të vogël.

Në praktikën e sistemeve elektrike përdoret gjërësisht çkyçja vetëm e fazës së dëmtuar (shumica e lidhjeve të shkurtëra kanë karakter njëfazor), Në këto raste tensioni në skajet e harkut nuk hiqet plotësisht. Për shkak të kapacitetit që ka faza e dëmtuar kundrejt dy fazëve të tjera të shëndosha, në vendin e lidhjes me tokën kalon rrymë kapacitive; nga ana tjetër, në skajet e harkut të shuar mbetet një tension i zvogëluar kundrejt tensionit të fazës. Prandaj mund të ndodhin dy raste:

1. tensioni i mbetur dhe rryma që përshkon harkun mund të kenë vlerë të tillë që harku me gjatësinë maksima-

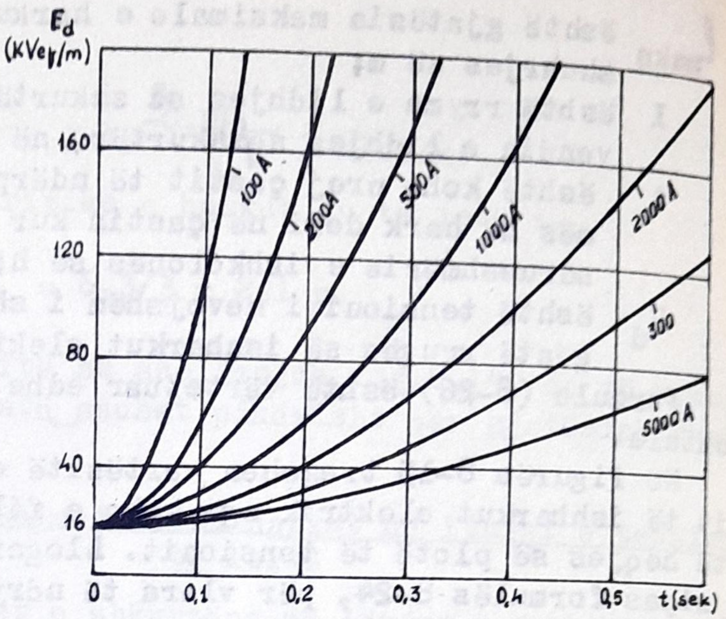


Fig.8-15. Vartësia e gradientit të shpimit të ishkanalit të harkut nga koha e filluar prej çastit të heqjes së plotë të tensionit.

le që mund të marrë gjatë ciklit të kyçjes të përsëritur të mos shuhet. Në këto raste, dëmtimi nuk eliminohet vetëm me çkyçjen e një faze, dhe është e domosdoshme të bëhet çkyçja trifazore. Kontrolli i vetëshuarjes së harkut mund të bëhet me ndihmën e formulave (8-23) ose (8-24) sipas madhësisë së rrymës kapacitive dhe të tensionit të mbetur në skajet e harkut;

2. në qoftë se harku është i paqëndrueshëm, ose bëhet i paqëndrueshëm gjatë kohës kur faza e dëmtuar është e çkyçur, eliminimi i lidhjes së shkurtër bëhet i sigurtë, veçse për këtë nevojitet një kohë më e madhe se në rastin kur tensioni hiqet plotësisht. Pra koha e nevojshme për të siguruar mosrindezjen e harkut, në çastin e rikyçjes së fazës së dëmtuar, do të përbëhet prej dy komponentëve:

$$\Delta t = \Delta t_v + \Delta t_d \qquad (8\text{-}27)$$

Komponentja Δt_v përcaktohet prej çastit të çkyçjes së fazës së dëmtuar deri në çastin e vetëshuarjes së

harkut, kurse Δt_d ka afërsisht po atë vlerë që do të kishte Δt kur hiqet tensioni plotësisht, d.m.th. koha e dejonizimit të harkut është e llogaritur sipas formulës (8-26).

Natyrisht rëndësi të madhe ka po të vetëshuhet ose jo harku me rrymë kapacitive.

Në fig.8-16 tregohet skema e lidhjeve kapacitive kur çkyçet faza e dëmtuar. Rryma I_t, që kalon në harkun e lidhjes me tokën, do të ketë si vlerë absolute rrymën I_{13} ose I_{12}, sepse shuma e këtyre dy rrymave të çfazuara më 120°, do të japë po atë vlerë, pra:

$$I_t = I_{13} = I_{12} = \omega C_{12} U_f \qquad (8\text{-}28)$$

Kapaciteti midis përcjellsave të fazës në linjat e transmetimit të energjisë elektrike mund të çmohet për llogaritje të afruara 0,003 μF/km. Në këtë mënyrë, në 100 km. linjë, rryma I_t do të jetë rreth 6A për linjat 110 kV. kurse 12A, për linjat 220 kV. Tensioni i mbetur në skajet e harkut të shuar, d.m.th. kapaciteti C_{11}, në bazë të skemës së fig.8-16, do të jetë :

$$U_t = \frac{C_{12}/C_{11}}{1 + 2\, C_{12}/C_{11}}\, U_f \qquad (8\text{-}29)$$

Raporti C_{12}/C_{11}, në linjat e tensionit të lartë, për një llogaritje të afruar, mund të merret 0,3. Prandaj tensioni i mbetur U_t, do të jetë :

$$U_t = \frac{0{,}3}{1 + 2.0{,}3}\, U_f \cong 0{,}2\, U_f \qquad (8\text{-}30)$$

Gjatësia maksimale që mund të marrë harku, në shumicën e rasteve praktike të linjave 110 dhe 220 kV. krijon kondita për vetëshuarjen e harkut, veçse koha e ciklit të rikyçjes njëfazore do të jetë më i zgjatur se ai i kyçjes trifazore. Në linjat shumë të gjata dhe në ato me tension më të lartë se 220 kV. vështirësohet

mjaft vetëshuarja e harkut.

8-9. Rezistenca e harkut elektrik.

Çfaqia e harkut elektrik në linjat e tensioneve të larta ndikon mjaft në veprimin e mbrojtjes rele, sidomos në mbrojtjet në largësi, sepse rezistenca aktive e harkut mund të zhvendosë zonat e këtyre mbrojtjeve.

Rezistenca e harkut për rryma të mëdha të lidhjes së shkurtër (mbi 500 A), mund të llogaritet në mënyrë të afruar sipas formulës :

$$R_h = \frac{1,05.10^3 \cdot \ell_h}{I_h} \qquad (8-31)$$

ku: R_h jepet në Ω ;

ℓ_h është gjatësia e harkut në m;

I_h është rryma e lidhjes së shkurtër që kalon në hark, në A_{ef}.

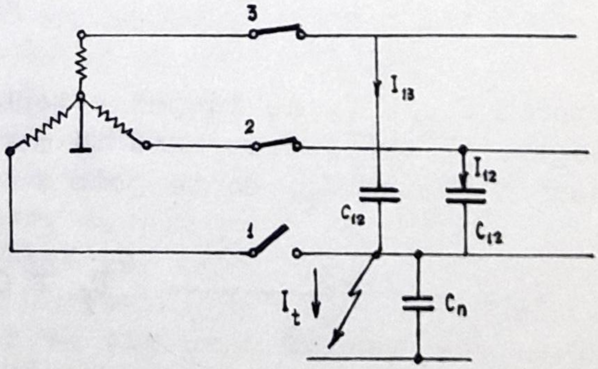


Fig.8-16. Skema e lidhjeve kapacitive kur çkyçet faza e dëmtuar.

KAPITULLI IX

Zbatime të tensioneve të larta në industri

Tensionet e larta përdoren gjerësisht në industri dhe luajnë një rol të rëndësishëm në zgjidhjen e problemeve të ndryshme praktike. Më poshtë po japim disa shembuj.

9-1.- Ndarsat elektrostatikë

Shpesh herë mineralet përbëhen prej elementeve të dobishme dhe të padobishme. Largimi i elementeve të padobishme ose veçimi i elementeve të dobishme prej një minerali të dhënë kërkon procese të gjata teknologjike, që ngrejnë koston e elementit të dobishëm. Në mjaft raste, përpunimi me anën e ndarsave elektrostatikë ka leverdi të madhe ekonomike. Kohët e fundit përdorimi i ndarsave elektrostatikë përdoret gjërësisht në praktikë. Edhe në vendin tonë kjo metodë ka filluar të zbatohet, sidomos në drejtim të ndarjes së rërave.

Ndarsat elektrostatikë, sipas parimit të veprimit të tyre, mund të ndahen në dy tipa kryesorë: të parët mbështeten në ndryshimin e konstantes dielektrike të mineraleve të ndryshme, ndërsa të dytët në ndryshimin e përcjellshmërisë elektrike të tyre.

a) Ndarës elektrostatik i thërmiave dielektrike. Para se minerali të hyjë në ndarësin elektrostatik, ai duhet të bluhet në formë pluhuri, të lahet dhe së fundi të thahet. Minerali i përpunuar në këtë mënyrë vendoset në bunkerin B(fig.9-1). Prej bunkerit bie poshtë mbi cilindrin shpërndarës C, i cili rrotullohet ngadalë rreth boshtit të vet. Detyra e shpërndarësit C është të dërgojë mineralin në formë pluhuri në fushën elektrike të krijuar prej elektrodave E_1, E_2, në mënyrë të njëtrajtëshme. Thërmiat e mineralit shmangen nga trajektorja e tyre fille-

stare, më shumë apo më pak; sipas madhësisë së konstantes dielektrike të tyre. Kështu, në mbledhësin M mineralet ndahen njëri nga tjetri. Në anët A,B,C të mbledhësit mund të fitohen komponente të ndryshme të mineralit.

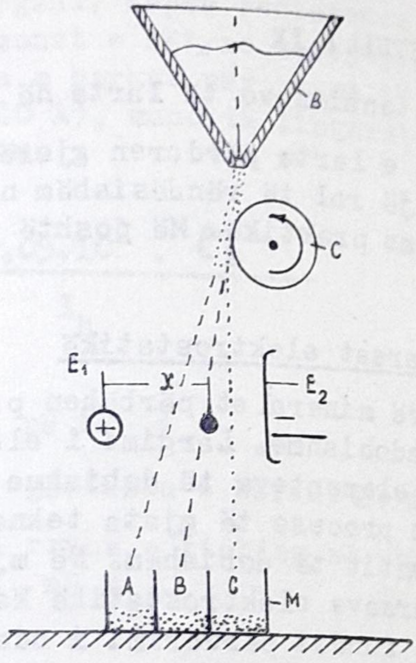


Fig.9-1. Ndarës elektrostatik i thërmijave dielektrike.

Në qoftë se marrim në shqyrtim një thërmijë që ndodhet në largësi x prej elektrodës pozitive, do të vrejmë se ajo do të polarizohet (fig.9-2). Forca mekanike që do të veprojë mbi thërmijën do të ketë kahje nga elektroda me kurbaturë më të madhe E_1. Fusha elektrike ndërmjet elektrodave E_1 dhe E_2 nuk është e njëtrajtshme, prandaj në dy skajet e thërmijës intesiteti i fushës elektrike do të jetë i ndryshëm. Në fig.9-2 tregohet një thërmijë, e cila për thjeshtësi pranohet të ketë formë sferike me diametër ρ_o. Për shkak të polarizimit, në skajin 1 do të grumbullohet ngarkesa elektrike negative $-q$ kurse në skajin e kundërt 2, ngarkesa + q. Në skajin 1 vlera e intensitetit të fushës elektrike le të jetë E_1

kurse në skajin 2 do të jotë afërsisht $E + \frac{\partial E}{\partial x} \rho_0$,

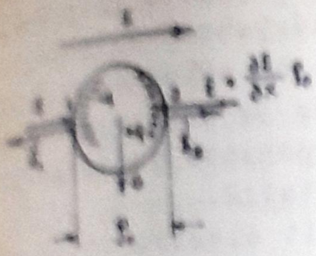


Fig. 9-2. Forcat që veprojnë në thërmijën e ndodhur në fushë elektrike jo të njëtrajtshme.

Mbi thërmijën do të veprojnë forcat elektrike:

$$f_1 = -qE; \; F_2 = +q \left(E + \frac{\partial E}{\partial x} \rho_0\right) \qquad (9\text{-}1)$$

Forca elektrike rezultante do të jetë :

$$f = f_1 + f_2 = -qE + q(E + (E + \frac{\partial E}{\partial x} \rho_0),$$

ose

$$f = q \cdot \rho_0 \frac{\partial E}{\partial x} \qquad (9\text{-}2)$$

Që forca elektrike të veprojnë mbi thërmiat që përshkojnë fushën elektrike, kjo e fundit nuk duhet të jetë e njëtrajtshme, d.m.th. $\partial E/\delta x \neq 0$. Meqenëse me zmadhimin e largësisë x intensiteti i fushës elektrike zvogëlohet, kahja e forcës do të jetë nga elektroda me kurbaturë më të madhe, në rastin tonë thërmiat do të tërhiqen nga elektroda pozitive. Formula 9-2 tregon se madhësia e forcës elektrike varet nga diametri i thërmiave dhe nga ngarkesa e polarizimit.

Përveç forcës elektrike, mbi thërmijë vepron edhe forca e gravitetit e çfazuar në hapësirë kundrejt forcës elektrike me 90^0.

Trajektorja e thërmijës do të varet pikërisht nga

bashkëveprimi i këtyre dy forcave.

Diametri i thërmiave të mineralit ka karakter statistikor, prandaj në enët mbledhëse A, B dhe C (fig.9-1) do të ketë përzierje mineralesh të ndryshme, natyrisht me përqindje të vogël të komponentes A, në mbledhësin B, dhe anasjelltas. Prandaj në praktikë, për të rritur shkallën e pasurimit të mineralit, secila komponente veças përpunohet disa herë në ndarësin elektrostatik.

Parimi i veprimit të ndarësit elektrostatik mbështetet në ngarkesën e ndryshme q, që fitojnë komponentet e ndryshme të mineralit kur kalojnë fushën elektrike.

Ngarkesa elektrike e polarizimit mund të llogaritet sipas formulës :

$$q = k\rho_0^{\,2}\,\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r+2}\,E_0 \qquad (9\text{-}3)$$

ku konstantja k varet nga njësitë e matjes.

Kështu, kjo ngarkesë varet nga konstantja dielektrike e materialit, nga diametri i thërmijës dhe nga intesiteti i fushës elektrike.

Duke zëvendësuar në formulën (9-2), do të marrim përfundimisht forcën e kërkuar elektrike :

$$f = k\,\rho_0^{\,3}\,\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r+2}\,E\,\frac{\partial E}{\partial x} \qquad (9\text{-}4$$

Formula (9-4) është e vlefshme për fushën elektrike në ajër.

Që forca elektrike të ketë gjatë të gjithë trajektores të thërmijës të njëjtën kahje, nuk duhet të ndryshojë shënja e gradientit të intesitetit të fushës elektrike ($\partial E/\partial x$). Konditë tjetër e nevojshme është që në hapësirën midis elektrodave të mos ketë përqëndrim jonesh, d.m.th. të mos çfaqet shkarkimi kurorë në asnjë pikë të elektrodave.

Në rast të kundërt thërmiat mund të ngarkohen me

ngarkesa elektrike (shih formulat 8-7 dhe 8-9) dhe të lëvizin kah elektroda E_2 njëlloj si në filtrat elektrostatikë, pavarësisht nga natyra e thërmiave.

Duke u mbështetur në kërkesat e sipërme, elektroda E_1 duhet të jetë cilindrike ose sferike me diametër të tillë që për tensionin e punës të mos çfaqet shkarkimi kurorë.

Fusha elektrike e krijuar ndërmjet një cilindri me diametër të përshtatshëm (elektroda E_1) dhe një rrafshi (elektroda E_2) siguron konditën që $\partial E/\partial x$ të ketë të njëjtën shënjë në të gjithë hapësirën midis elektrodave. Që forca elektrike (formula 9-4) të jetë sa më e madhe duhet që intesiteti i fushës elektrike E dhe gradienti i tij $\partial E/\partial x$ të kenë vlerë sa më të mëdha në zonën ku kalojnë thërmiat e mineralit. Prandaj këto të fundit duhet të kalojnë afër elektrodës me kurbaturë të madhe (E_1).

b) <u>Ndarës elektrostatik i thërmiave përcjellëse.</u> Minerali përsëri në formë pluhuri shpërndahet në mënyrë të njëtrajtshme me ndihmën e shpërndarësit drishës D (fig. 9-3). Thërmiat bien mbi sipërfaqen e elektrodës pozitive në formë cilindri që rrotullohet rreth boshtit të vet.

Thërmiat, sipas madhësisë së përcjellshmërisë që kanë në prekje me anodën, fitojnë më shumë ose më pak ngarkesa pozitive. Si rrjedhim, mbi thërmiat e ngarkuara do të veprojnë forca shtytëse, të cilat u japin thërmiave rrugë lëvizëse të ndryshme sipas përcjellshmërisë elektrike të tyre. Thërmiat do të bien në mbledhësin M, në zona të ndryshme. Thërmiat me përcjellshmëri të madhe elektrike do të bien në mbledhësin A, kurse ato me përcjellshmëri të keqe në B. Për të shkëputur thërmiat në sipërfaqe të cilindrit shërben furca F.

Le të marrim në shqyrtim një thërmijë e cila i afrohet elektrodës pozitive (fig.9-4). Nën ndikimin e fushës elektrike thërmia polarizohet fig.9-4 (a). Në prekje me anodën ngarkesat negative të thërmijës neutralizohen. Si rrjedhim thërmia mbetet e ngarkuar pozitivisht (fig. 9-4(b).

Në qoftë se shënohet me q ngarkesa elektrike e

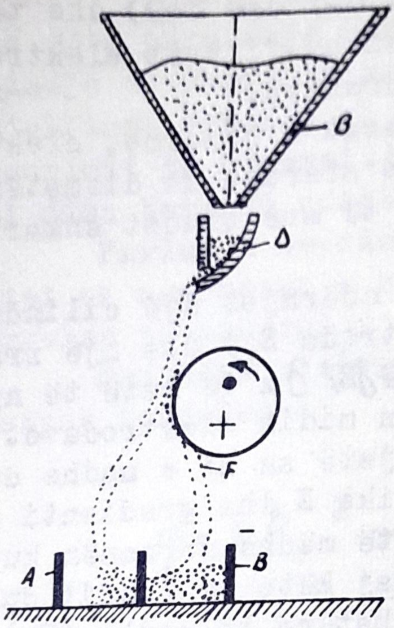


Fig. 9-3. Ndarës elektrostatik i thërmiave përcjellëse.

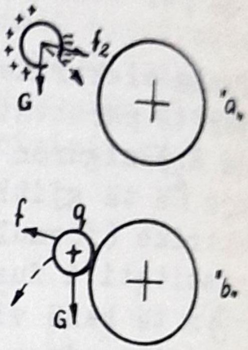


Fig. 9-4. Ngarkimi i thërmiave gjatë procesit të afrimit dhe prekjes me anodën.

thërmijës, forca shtytëse f, që do të veprojë mbi thërmijën, do të jetë :

$$f = q \cdot E, \qquad (9\text{-}5)$$

ku E është intesiteti i fushës elektrike në periferi të elektrodës pozitive.

Rruga që do të ndjekë thërmia e ngarkuar varet nga forca e gravitetit dhe sidomos nga madhësia e ngarkesës q. Ngarkesat q, që fitojnë thërmiat varet nga përcjellshmëria elektrike " γ " e mineralit. Thërmiat e të njëjtit material, për arësye të shkallës të papastërtisë që kanë, mund të kenë përcjellshmëri elektrike të ndryshme, ose rezistencë të ndryshme kontakti.

Ndarja e mineraleve e mbështetur në ndryshimin e përcjellshmërive elektrike mund të fuqizohet në qoftë se

thërmia para se të prekë anodën do të ngarkohet paraprakisht me ngarkesë negative. Kjo mund të realizohet duke iu dhënë atyre potencialin e ripit lëvizës L, që shërben njëkohësisht edhe si transportues i thërmiave (fig.9-5). Potensiali negativ i ripit metalik L fitohet kundrejt anodës ndihmëse N.

Thërmiat e mineralit, kur shkëputen prej ripit L, sotërojnë ngarkesë negative, prandaj ato tërhiqen prej elektrodës pozitive E_1. Kur thërmiat prekin anodën E_1, ato ndërrojnë shënjën e ngarkesës elektrike. Sa më e madhe është përcjellshmëria elektrike e tyre "γ", aq më e madhe do të jetë ngarkesa elektrike pozitive që do të fitojë, ose aq më shpejt do të largohen prej elektrodës E_1, duke rënë në pjesën A të mbledhësit. M. Thërmiat me përcjellshmëri të vogël elektrike qëndrojnë më gjatë në si-

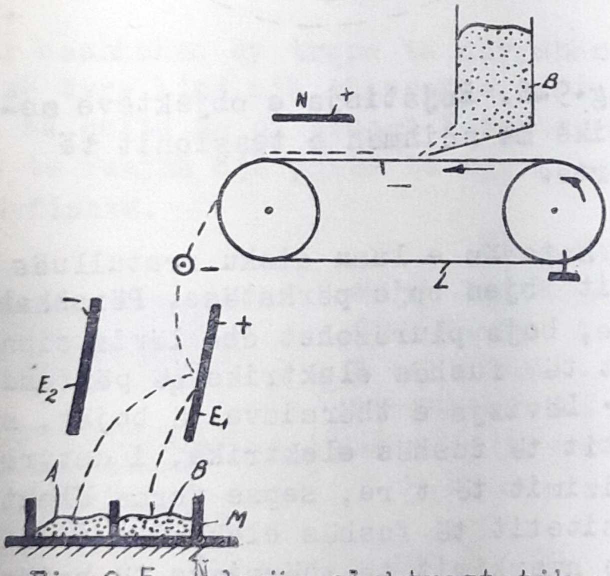


Fig.9-5. Ndarës elektrostatik me parangarkim të thërmiave të mineralit.

përfaqe të elektrodës E_1 dhe si rrjedhim bien në pjesën B të mbledhësit. Parangarkimi zgjat kohën e ndryshimit të shënjës së ngarkesës për thërmiat e mineralit që kanë përcjellshmëri të vogël elektrike.

Efektiviteti më i madh i këtyre ndarësave është

për ndarjen e materialeve përçuese nga ato izoluese.

9 - 2. Bojatisje me ndihmën e fushës elektrostatike

Në fig.9-6 tregohet bojatisja e materialeve(metalikë) me ndihmën e tensionit të lartë. Trupit që bojatiset i jepet potencial pozitiv. Për qëllime sigurimi teknik trupi që bojatiset lidhet me tokën.

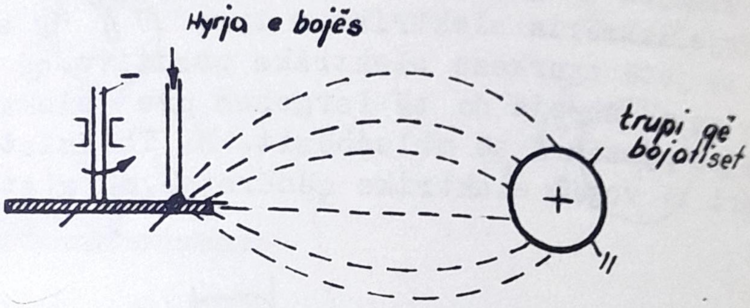


Fig.9-6. Bojatisja e objekteve metalike me ndihmën e tensionit të lartë.

Rolin e katodës e luan disku rrotullues D, në periferi të të cilit bjen boja përkatëse. Përshkak të forcave centrifugale, boja plurëzohet dhe lëviz sipas vijave të intesitetit të fushës elektrike që përfundon në trupin që bojatiset. Lëvizja e thërmiave të bojës, sipas vijave të intesitetit të fushës elektrike, i detyrohet fenomenit të polarizimit të tyre, sepse forca elektrike ka drejtimin e intesitetit të fushës elektrike (shih formulën (9-4), si dhe ngarkimit të thërmiave të bojës gjatë procesit të plurëzimit. Bojatisja me këtë mënyrë ka disa të mira: së pari, bojatisja bëhet mjaft e njëtrajtshme, në qoftë se materiali që bojatiset njëkohësisht rrotullohet së dyti, humbja e bojës në ambientin rrethues është mjaft e vogël. Kjo jo vetëm zvogëlon koston e bojatisjes, por njëkohësisht përmirëson në mënyrë të dukshme kondi-tat higjeniko-sanitare të punonjësve në krahasim me metodat mekanike të bojatisjes me plurëzim.

Procesi i bojatisjes mund të përmirësohet, në

qoftë se njëkohësisht thermiat e bojës fitojnë ngarkesa elektrike në rastin e fig.9-6 ngarkesa negative. Kjo mund të arrihet në qoftë se diskut që rrotullohet i jepet tension i lartë negativ i tillë, që të çfaqet shkarkimi kurorë. Ngarkesat negative që lindin në buzët e diskut rrotullues ngarkojnë thërmiat e bojës, duke iu dhënë mundësi atyre që të përqëndrohen më mirë në rrugët drejt objektit që lyhet (anodës).

9-3. Veprime të ngarkesave elektrostatike në industri

Ngarkesa elektrostatike mund të lindin gjatë shumë proceseve të ndryshme teknologjike në industri, si p.sh. nga bashkimi dhe ndarja e trupave materialë nga fërkimi i tyre, nga lëvizja e lëngjeve ose e gazeve në tubacione, etj.

Kur bashkohen dy trupa të ndryshëm, në sipërfaqen e prekjes së tyre lind një shtresë e dyfishtë elektrikë (fig.9-7). Në qoftë se dy trupat largohen njëri nga tjetri ata do të ruajnë një pjesë të ngarkesave elektrike të shtresës dyfishtë.

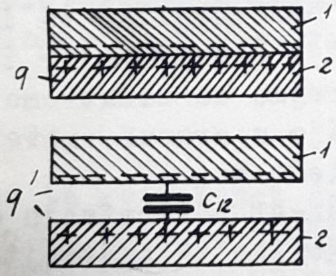


Fig.9-7. Lindja e ngarkesave elektrostatike në sipërfaqen e prekjes të dy trupave.

Në qoftë se shënohet me q ngarkesa e shtresës dyfishtë, pas si kryhet ndarja e dy trupave, ngarkesa do të zvogëlohet në q'. Tensioni midis dy trupave do të jetë:

$$U_{12} = q/C_{12} \qquad (9\text{-}6)$$

ku C_{12} është kapaciteti midis dy trupave.

Sa më shumë largohen trupat njëri nga tjetri, aq më tepër zmadhohet tensioni midis tyre. Vlera e tensionit U_{12}, natyrisht, do të kufizohet nga procesi i humbjes së ngarkesave nëpërmjet trupave ndihmës që shkaktojnë largi-

min e dy trupave në studim, si dhe nga shkarkimet që mund të ndodhin gjatë procesit të largimit të trupave.

Në qoftë se trupat 1 dhe 2 fërkohen midis tyre, ngarkesa q' rritet. Kjo i detyrohet zmadhimit të sipërfaqes së kontaktit. Sado të lëmuara të jenë sipërfaqet e prekjes, ato gjithmonë kanë një farë ashpërsie, prandaj ato takojnë vetëm në një pjesë të tyre. Gjatë fërkimit rritet jo vetëm sipërfaqia e prekjes, por edhe temperatuara, e cila gjithashtu favorizon zmadhimin e ngarkesës q'

Shtresa e dyfishtë mund të lindë edhe kur njëri trup është i lëngët. Në disa raste mund të ndodhë edhe në një trup të vetëm. Kjo ndodh kur gjatë fërkimit dy pjesët e trupit fitojnë temperatura të ndryshme.

Shpjegimi i mekanizimit të lindjes së ngarkesave në sipërfaqen e prekjes së dy trupave bëhet me ndihmën e teorisë së kuanteve.

Le të shikojnë disa raste praktike të lindjes së ngarkesave nga prekja dhe nga shkëputja e trupave të ndryshëm.

a) Ndikimi i fushës elektrike të jashtme në lindjen e ngarkesave elektrike gjatë prekjes me fërkim. Në qoftë se do të lemë të rrëshqasin mbi një plan të pjerrët metalik të tokësuar (fig.9-8) thërmia materiale rëre, të cilat grumbullohen në një enë metalike të izoluar mirë nga toka dhe të lidhur me një elektrometër të ndjeshëm, p.sh. elektronik, do të verejmë se elektrometri do të tregojë ngarkesë negative Q_o. Kjo ngarkesë rritet me sasinë e rërës që bien në enën mbledhëse.

Në qoftë se mbi rërën që rrëshqet në rrafshin e pjerrët do të zbatojmë një fushë elektrike të njëtrajtshme, me kondità që rrafshi i pjerrët të luajë rolin e katodës, atëhere sa më i madh të jetë intensiteti i fushës elektrike E, aq më tepër do të rritet ngarkesa elektrike në enën mbledhëse. Ngarkesa e fituar mund të llogaritet sipas formulës :

$$Q = - Q_o - kE, \qquad (9\text{-}7)$$

ku k përfaqëson një konstante që varet nga lloji i materialit që rrëshqet dhe nga sipërfaqja e rrëshqitjes.

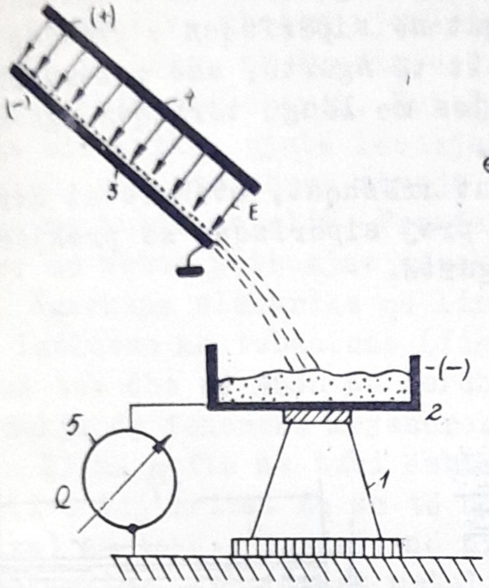


Fig. 9-8. Lindja e ngarkesave elektrike në thërmiat e ngurta që rrëshqasin mbi një rrafsh të pjerrët metalik: 1) izolator; 2) enë metalike; 3, 4) elektroda; 5) elektrometër.

Çfaqja e ngarkesave elektrike në të tilla kondita mund të jetë e dëmshme ose e dobishme. Tensioni që lind midis enës mbledhëse dhe tokës mund të rritet aq sa prej enës të ndodhin shkarkime elektrike në tokë, të cilat mund të sjellin dëme në njerës ose në materiale, p.sh. eksplozione. Ngarkimi i thërmiave me ngarkesa elektrike mund të shërbejë në ndarjen e mineraleve në komponente të dobishme në ndarsat elektrostatikë.

Ngarkesa Q mund të zhduket në qoftë se plotësohet kondita:

$$E_{kr} = - Q_o/k \qquad (9-8)$$

Praktikisht ngarkesa Q mund të zvogëlohet deri në një vlerë të parrezikshme, por jo të zhduket krejtësisht, sepse raporti Q_o/k varet nga shumë faktorë si cilësitë e sipërfaqes së trupave që rrëshqasin, shkalla e papastërtimit të tyre, lagështia, temperatura, etj.

b) <u>Lindja e ngarkesave gjatë këputjes së fijeve</u>. Kur këputen fije mëndafshi ose fije tekstile të ndryshme, vërehet se në dy skajet e këputura të fijes lindin ngarkesa elektrike me shënjë të kundërt. Eksperimentalisht është vërtetuar se ngarkesa elektrike zmadhohet me numrin e fijeve të këputura dhe me sipërfaqen e këputur. Këto ngarkesa mund (në disa kondita) të shkaktojnë shkarkime elektrike dhe të rrezikojnë fabrikat tekstile nga zjarri.

c) Lindja e ngarkesave gjatë lëvizjes së lëngjeve. Në sipërfaqe të lëngut në prekje me një trup të ngurtë ose të gazët, lind gjithashtu një shtresë e dyfishtë elektrike. Molekulat e lëngut në sipërfaqen e prekjes tërhiqen nga molekulat e trupit të ngurtë, ose molekulat e gazit në sipërfaqen e prekjes me lëngu tërhiqen nga molekulat e lëngut (fig.9-9).

Në qoftë se lëngut rrëshqet, atëhere ai merr me vehte ngarkesa elektrike prej sipërfaqes së prekjes së gazit ose të trupit të ngurtë.

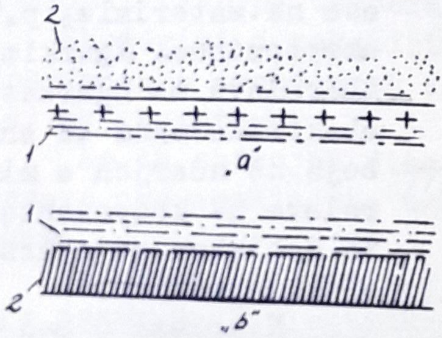


Fig.9-9.Lindja e shtresës së dyfishtë elektrike në sipërfaqen midis lëngut dhe gazit (1) dhe lëngut me trupin e ngurtë(b): 1) lëng;2)gaz;3) trup i ngurtë.

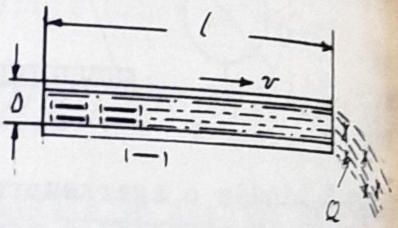


Fig.9-10.lindja e ngarkesave gjatë rrjedhjes së lëngjeve në tubacione.

Praktikisht ngarkesa elektrike ndodhin gjatë rrjedhjes së lëngjeve në tubacione, ose rënjes së lëngut në një enë. Këto proçese mund të lindin si për lëngjet përcjellëse ashtu dhe për ato izoluese.

Në fig.9-10 tregohet rrjedhja e një lëngu në një tub. Eksperimentet kanë treguar se ngarkesa që merr me vehte lëngu kur del prej tubit mund të shprehet sipas formulës :

$$Q = k\, v\, \ell^{n}/D^{2} \qquad (9\text{-}9)$$

ku : n është një koeficient më i vogël se njësia;
k është një konstante që varet edhe nga ashpërsia e sipërfaqes së brendshme të tubit.

Lëngu merr me vehte ngarkesa pozitive, ndërsa ngarkesat negative mbeten pjesërisht në tubin metalik dhe pjesërisht në lëng, në fundin e tubit. Ky fenomen ndodh kur lëngu është dielektrik. Kur lëngu ka përcjellshmëri të madhe elektrike, gjatë lëvizjes së tij ndodhin ndarje ngarkesash, por ato shumë shpejt ribashkohen qoftë nëpër lëng ose me tubin metalik. Prandaj në këto raste lëngu nuk merr me vehte pothuajse aspak ngarkesa elektrike.

Ngarkesa elektrike që lind gjatë lëvizjes së lëngjeve izoluese në tubacione (fig.9-10) përqëndrohet kryesisht në tub dhe në enën ku derdhet lëngu. Këtu do të vemë në dukje dy fenomene kryesore:

1) në qoftë se tubi është i izoluar nga toka, potenciali i tij rritet aq sa të ndodhin shkarkime elektrike (xixa) në tokë. Prandaj, në praktikë, për të mënjanuar këto shkarkime, tubacionet metalike tokëzohen (fig.9-11);

2) lëngu i mbledhur në një enë i transmeton kësaj të fundit ngarkesa elektrike. Në qoftë se ena mbledhëse metalike është e izoluar mirë nga toka, potenciali i saj do të zmadhohet vazhdimisht me sasinë e lëngut në enë dhe me kalimin e kohës. Në rast se shënohet me C_o kapaciteti i enës kundrejt tokës, potenciali i enës do të jetë :

$$U_o = Q/C_o, \qquad (9\text{-}10)$$

ku Q është ngarkesa elektrike që ka fituar ena. Kur potensiali U arrin vlerën e tensionit të shkarkimit midis enës dhe tokës, prej enës ndodh një xixë elektrike në tokë, ose shkarkim kurorë. Për të mënjanuar këto shkarkime elektrike, ena duhet të tokëzohet, p.sh. në fig.9-11, me anë të çelsit Q. Në pikat e tokëzimit qoftë të tubit, ose të enës, kalon rrymë elektrike.

Ngarkesat e lëngut në enë i kalojnë kësaj të fundit ngadalë. Kjo kohë varet nga përcjellshmëria e lëngut.

Kur ena është prej materiali izolues, shkarkimi nuk ka mundësi të kryhet me sistemin e tokëzimit.

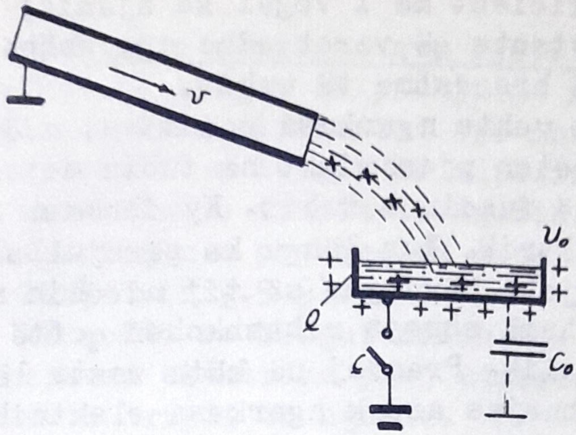


Fig.9-11. Çfaqja e ngarkesave elektrike në enët mbledhëse të lëngjeve izoluese.

Ngarkesa elektrostatike mund të lindin në autoçisterna, të cilat transportojnë lëngje izoluese. Gjatë lëvizjes së automjetit, kemi lëvizje të lëngut në rezervuar. Në sipërfaqe të rezervuarit dhe si rrjedhim në gjithë konstruksionin e automjetit grumbullohen ngarkesa, të cilat i japin atij një potencial që mund të shkaktojë edhe shkarkime elektrike. Këto shkarkime mund të krijojnë rreziqe zjarri. Mënjanimi i ngarkesave mund të kryhet ose nëpërmjet një zinxhiri metalik që zvariset në tokë, ose duke përdorur rrota me goma materiali gjysmëpërcjellës.

d) <u>Lindja e ngarkesave gjatë plurëzimit të lëngjeve.</u> Gjatë proçesit të plurëzimit (spurcimit) të lëngjeve mund të lindin ngarkesa elektrike. Lëngu i plurëzuar merr me vehte ngarkesa negative, (fig.9-12(a). Gjithashtu, ngarkesa mund të lindin për shkak të spërkave që krijohen kur derdhet me shpejtësi një lëng mbi një enë (fig.9-12 (b).

Spërkat që dalin jashtë enës marrin me vehte ngarkesa negative. Kështu; ena ngarkohet pozitivisht.

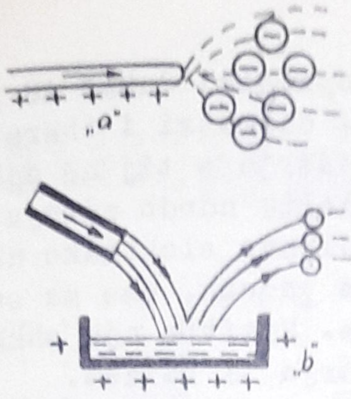


Fig.9-12. Lindja e ngarkesave gjatë spurcumit (a) dhe krijimit të spërkave(b).

9.4.-Veprime të dëmshme të ngarkesave elektrostatike

Çfaqja e ngarkesave elektrostatike mund të shkaktojë veprime të dëmshme në mjaft raste në industri. Midis tyre mund të përmëndim:

1. shkëndia ndezëse në lëndët eksplozuese ose ndezëse;
2. tërheqje ose shtytje sendesh të vogla(fije tekstili, letre, pluhuri) etj;
3. goditje ose plagë elektrike njerëzve;
4. dëmtime kimike të materialeve, etj.

Po ndalemi në rastin më të padëshirueshëm të veprimit të ngarkesave elektrostatike, në mundësinë që të shkaktojnë eksplozione. Në praktikë ekzistojnë shumë lëndë të cilat mund të ndizen në prani të ajrit. Praktikisht çdo material organik mund të digjet.

Si elemente inorganike të djegshme mund të jenë:

a) elemente jometalike (A_s, B, C, P, T_e, H);
b) elemente metalike (Na, K, Cs, Sr, Be, Ba, Al, Mg, Ni, Cu, Zn) dhe lidhjet e tyre.

Zakonisht eksplozion ndodh kur materiali i djegshëm ndodhet në formë pluhuri i përhapur në ajër. Si pluhra eksplodues organikë në praktikë mund të përmenden: pluhur sheqeri, kakaoje, mielli, misri, çaji, mjell druri,

gome etj.

Që të ndodhë eksplodimi duhet të plotësohen kondita të caktuara, si p.sh. diametri i thërmiave të pluhurit dhe përqëndrimi e shpërndarja e tij në ajër. Sa më i imtë të jetë pluhuri, aq më lehtë ndodh ndezja e tij.

Lindja e shkëndijave elektrike në një ambient me përzierje eksploduese gazesh, ose me avuj në ajër, është shumë e rrezikshme. Mjafton një shkëndi me energji shumë të vogël që prezierja të ndizet.

Energjia minimale e shkëndisë për të cilën ende ndodh ndezja, varet nga lloji i lëndës ndezëse dhe nga përqëndrimi i saj në ajër. Në tabelën 9-1 jepet kjo energji për të ndezur përzierje eksploduese përkatëse me ajrin.

Tabela 9-1

Lloji i përzierjes eksploduese.	Energjia e ndezjes, mJ.	Lloji i përzierjes eksploduese.	Energjia e ndezjes, mJ.
Sulfuri karboni.	0,20	Etan.	0,5
Hidrogjen.	0,25	Propan.	5,0
Eter etilik.	0,45	Butan.	5,0
Alkool metilik.	0,50	SH_2.	7,0
Alkool butilik	0,60	Oksid karboni.	8,0
Aceton.	0,60	Magnezi.	25,0
Alkool etilik.	0,65	Alumini.	50,0
Dioksan.	0,90	Zinku.	100,0
Benzol.	1,00	Ferromangani.	250,0
Heptan.	1,10	Kuarci.	2500,0

9-5. Mënyrat e luftimit të ngarkesave elektrostatike

Mënyrat e luftimit të ngarkesave, përgjithësisht mund të përmblidhen në tri :

1) ndalimi i lindjes së ngarkesave elektrike;
2) ngarkesat elektrike të largohen sa më shpejt;
3) të largohet mjeti që dëmtohet prej tyre ose pastrimi i ambientit nga lënda që shkakton dëme.

Metoda e parë është më e mira, por njëkohësisht edhe më e vështira. Në praktikë më gjërësisht përdoret metoda e dytë. Më poshtë analizohen disa mënyra për të zovëgluar efektin e ngarkesave elektrostatike.

a) Jonizimi i ajrit. Në qoftë se jonizohet ajri, në ambientin ku mund të ndodhin shkarkime elektrike, ngarkesat që do të krijohen në ajër do të neutralizojnë ngarkesat elektrostatike në vendin e grumbullimit të tyre. Jonizimi i ajrit mund të bëhet me rreze ultravioletë, rentgen, radioaktive, të cilat kanë kosto mjaft të madhe. Jonizimi mund të realizohet edhe me flakë, por në praktikë më gjërësisht aplikohen mënyrat e jonizimit me tension të lartë, të cilat po i analizojmë më poshtë.

Jonizimi mund të kryhet me " neutralizorë induktivë" , duke shfrytëzuar tensionin e lartë që krijojnë vetë ngarkesat elektrostatike që duhen luftuar. Mënyra tjetër shfrytëzon një burim të jashtëm që prodhon ten-

sion të lartë. Këto aparate quhen "neutralizatorë me tension të lartë ". Të dy llojet e neutralizatorëve shfrytëzojnë efektin e majave metalike, në të cilat intesiteti i fushës elektrike merr vlera të mëdha, sa mund të çfaqet shkarkimi kurorë. Tensioni për të cilin çfaqet kurora në afërsi të majave, lëviz në kufirin 2,3 deri 4 kV, në varësi të tipit të neutralizatorit.

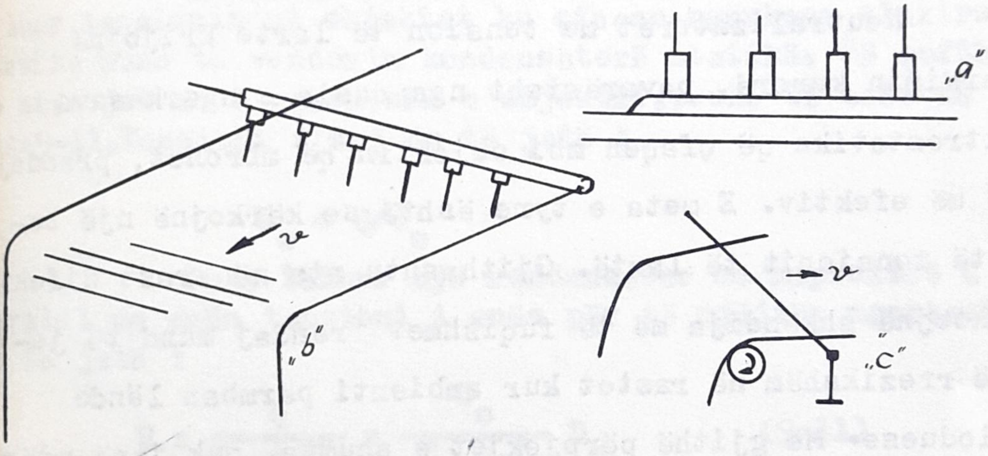


Fig.9-13. Largimi i ngarkesave elektrostatike me anë të neutralizatorëve induktivë:
a) neutralizatorë induktivë me maja metalike;
b)zbatimi i neutralizatorit induktiv me maja në industrinë tekstile;c) neutralizatorë induktivë me përcjellës cilindrik me diametër të vogël.

Në fig.9-13 tregohen neutralizatorë me maja (a) dhe në formë përcjellësi cilindrik (c). Neutralizatori me maja vendoset mbi sipërfaqen e produktit të tekstilit në një largësi të përshtatshme (fig.9-13 (b). Në

qoftë se ngarkesat elektrostatike i japin sipërfaqes të objektit që mbrohet një potencial kritik, në majat e neutralizatorit çfaqet shkarkimi kurorë, i cili dërgon ngarkesa elektrike me shënjë të kundërt dhe pakson ngarkesat elektrostatike mbi sipërfaqe. Në këtë mënyrë potenciali i sipërfaqes së objektit nuk zmadhohet në kufijt të tillë që të ndodhin shkëndia elektrike. Shkarkimi kurorë në neutralizatorin cilindrik çfaqet në periferi të përcjellësit cilindrik.

Neutralizatorët me tension të lartë krijojnë shkarkimin kurorë, pavarësisht nga sasia e ngarkesave elektrostatike që çfaqen mbi objektin që mbrohet, prandaj janë më efektiv. E meta e tyre është se kërkojnë një burim të tensionit të lartë. Gjithashtu ata në rast difekti shkaktojnë shkëndija më të fuqishme. Prandaj mund të jenë të rrezikshëm në rastet kur ambienti përmban lëndë eksploduese. Me gjithë përpjekjet e shumta, nuk janë ndërtuar neutralizatorë me tension të lartë që të përjashtojnë në mënyrë absolute shkëndia të rrezikshme.

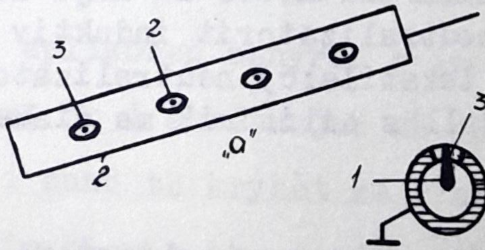


Fig.9-14. Parimi i ndërtimi i një neutralizatori me tension të lartë:
1)maja me tension të lartë;2) trupi i neutralizatorit i tokëzuar;3)hapësira ajrore midis elektrodave.

Neutralizatorët me tension të lartë mund të prodhohen me tension alternativ të vazhdueshëm dhe me frekuencë të lartë. Në fig. 9-14 tregohet në mënyrë skematike një neutralizator me tension të lartë. Majat metalike 1 ndodhen brenda tubit metalik 2, të tokëzuar .Shkarkimi kurorë ndodh në kulmin e majave metalike të cilat ushqehen me tension të lartë nga një burim i jashtëm.Duke e vendosur neutralizatorin mbi sipërfaqen e një objekti ku çfaqen ngarkesa elektrostatike, shkarkimi kurorë i neutralizon ato që në çfaqjen e parë të tyre.

b) Zmadhimi i kapacitetit të sistemit. Për të zvogëluar tensionin në objektet ku çfaqen ngarkesa elektrostatike mund të vendosim kondensatorë statikë. Në qoftë se shënojmë me Q ngarkesën e objektit,p.sh. të enës në fig.9-11.Tensioni i saj do të jetë :

$$U_o = Q/C_o$$

Duke lidhur një kondensator me kapacitet C paralel me enën tensioni i enës për të njëjtën ngarkesë Q do të jetë :

$$U = \frac{Q}{C_o + C} = \frac{C_o}{C_o + C} U_o \qquad (9-11)$$

Meqenëse kapaciteti i objekteve që fitojnë ngarkesa elektrostatike është shumë i vogël ,zvogëlimi i tensionit me anën e kondensatorëve mund të realizohet shumë thjeshtë. Kjo metodë mund të përdoret kur ngarkesa elektrostatike çfaqen në një objekt metalik, dhe që për arësye teknologjike ai duhet të jetë i izoluar nga toka.

c) Tokëzimi i maqinës dhe i pjesëve të saj. Në qoftë se pjesët e një maqine, ku çfaqen ngarkesa elektrostatike, janë metalike, mënyra më e thjeshtë është padyshim tokëzimi i tyre. Për pjesët jometrike, metoda e tokësi-

zimit nuk është e vlefshme. Dihet mirë nga eksperienca se një thupër ebaniti e elektrizuar mund të mbajë ngarkesën e vet orë të tëra edhe kur njëri skaj i saj tokëzohet.

d) Zmadhimi i përcjellshmërisë sipërfaqësore. Zakonisht ngarkesat elektrike në materialet izoluese imain në sipërfaqe të tyre dhe janë pothuaj lokale, d.m.th. atje ku çfaqen. Në qoftë se përcjellshmëria elektrike sipërfaqësore e dielektrikut zmadhohet, ngarkesat mund të zvogëlohen. Duke shënuar me Q_o ngarkesën fillestare, ngarkesa në çastin t mund të llogaritet sipas ligjit eksponencial të shkarkimit të kondensatorëve në qarkun R-C.

$$Q = Q_o \, e^{W - t/RC} \qquad (9-12)$$

ku R përfaqëson rezistencën sipërfaqësore të materialit izolues. Për të shkarkuar objektet dielektrike, mjafton një rezistencë sipërfaqësore x e rendit disa qindra M Ω. Në praktikë përdoren dy mënyra për të zvogëluar rezistencën në sipërfaqe të dielektrikëve:

1. zmadhimi i lagështisë relative të ajrit. Këtu luan rol vetëm lagështia e thithur nga sipërfaqja e materialit që mbrohet. E metë e kësaj metode është se duhet ti jepet gjithë ambientit lagështi.

2. përpunimi kimik i sipërfaces së dielektrikëve. Kjo realizohet duke vendosur në sipërface një shtresë shumë të hollë me përcjellshmëri të mjaftueshme elektrike, për të shkaktuar ngarkesat elektrostatike mbrënda një intervali kohe të lejuar.

KAPITULLI X

PROCESET VALORE NË LINJAT HOMOGJENE DHE MAQINAT ELEKTRIKE

Proceset valore, ose proceset shumë të shpejta kalimtare, zhvillohen në mënyrë të theksuar në atö raste kur përmasat e qarqeve elektrike janë të mëdha. Valët elektromagnetike përhapen më shpejtësinë e dritës. Megjithëse kjo shpejtësi është shumë e madhe, në qarqet elektrike me përmasa të konsiderueshme, siç janë linjat e shpërndarjes së energjisë elektrike, mbështjellet e transformatorëve ose të maqinave rrotulluese, tensioni dhe rryma mörin në pika të ndryshme të qarkut, në kohë të ndryshme. Shpimi i materialeve izoluese ndodh për kohë shumë të vogla, që maten me mikrosekonda. Prandaj ka rëndësi të madhe praktike të njihet ndryshimi, sidomos i tensionit, jo vetëm në varësi të kohës por edhe të pozicionit në qarkun elektrik.

Qarqet elektrike me përmasa të mëdha quhen edhe qarqe me parametra të shpërndarë. Qarqet e zakonshme elektrike quhen qarqe me parametra të përqëndruarë. Ndarja e qarqeve elektrike me parametra të shpërndarë dhe të përqëndruar është relative. Kjo varet nga frekuenca e rrymës. P.sh. proceset elektrike që ndodhin në një transformator, për frekuencën industriale, zhvillohen praktikisht në të njëjtin çast në pika të ndryshme të transformatorit. Kjo shpjegohet me faktin që gjatësia e valës që i korrespondon frekuencën 50 H_z është 6000 km, d.m.th. shumë herë më e madhe se gjatësia e përcjellësit që formon mbështjellën e transformatorit. Por në qoftë se në transformator vepron tension me frekuencë të lartë, ose një impuls tensioni me gjatësi vale të vogël, siç janë

p.sh. mbitensionet atmosferike, atëherë shpërndarja e tensionit do të varet jo vetëm nga koha por dhe nga pozicioni i pikës së mbështjellës. Me fjalë të tjera transformatori në këto raste mund të studjohet duke e konsideruar atë me parametra të shpërndarë. Në mënyrë analoge mund të arësyetojmë edhe për linjat, maqinat rrotulluese, etj.

Meqenëse linjat kanë pak a shumë vendosje të njëtrajtshme kundrejt sipërfaqes së tokës, në fillim do të japim karakteristikat e përhapjes së valëve në këto linja.

PËRHAPJA E VALËVE NË PËRCJELLËSAT E LINJAVE

Linja quhet e njëtrajtshme atëhere kur parametrat e saj në njësinë e gjatësisë nuk ndryshojnë. Le të jenë L;C,r,g:- induktiviteti, kapacíteti, rezistenca dhe rezistenca e përcjellshmërisë në njësinë e gjatësisë së linjës. Tensioni (u) dhe rryma (i) në një pikë të linjës do të varen jo vetëm nga koha por edhe nga pozicioni, p.sh. pika A në fig.10-1. Në këtë figurë tregohet një elementi i linjës së njëtrajtshme me gjatësi $AB = \partial x$. Parametrat e këtij elementi do të jenë respektivisht: $r\partial x$, $L\partial x$, $g\partial x$ dhe $C\partial x$. Tensioni dhe rryma në pikën A do të jenë u dhe i, kurse në pikën B, $u + \partial u$ dhe $i + \partial i$. Tensioni dhe rryma në pikën A do të varen nga largësia e saj prej fillimit të linjës, si dhe kohës t prej çastit fillestar kur tensioni zbatohet në fillim të linjës deri në çastin kur kërkohet vlera e tij. Pra problemi i zgjidhjes së procesit valor qëndron në llogari-

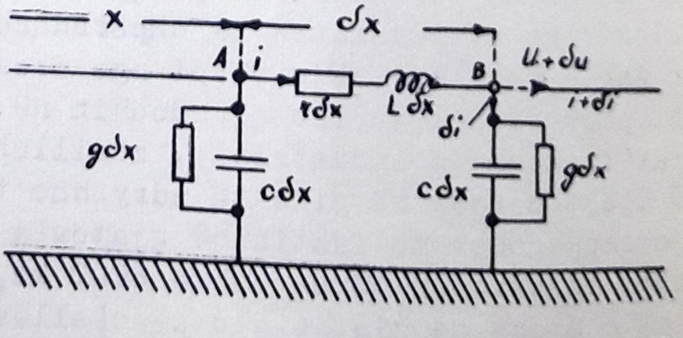


Fig.10-1. Linjë e njëtrajtshme(parametrat e një elementi të saj).

tjen e funksioneve :

$$u = f_1(x, t) ; \quad i = f_2(x, t)$$

Duke zbatuar ligjet e Kirkofit, për elementin e fig.10-1, do të marim :

$$- \partial u = r \partial x \, i + L \, \partial x \frac{\partial i}{\partial t} ;$$

$$- \partial i = g \partial x \, u + c \, \partial x \frac{\partial u}{\partial t} ;$$

ose :

$$- \frac{\partial u}{\partial x} = ri + L \frac{\partial i}{\partial t} ;$$

$$- \frac{\partial i}{\partial x} = gu + c \frac{\partial u}{\partial t} \qquad (10-1)$$

Sistemi i ekuacioneve diferenciale (10-1) me derivate të pjesshme përfaqëson të ashtuquajturat ekuacione të linjave telegrafike. Zgjidhja e këtyre ekuacioneve mund të kryhet me metoda të ndryshme matematike. Një nga metodat më të fuqishme, që ka dhënë zgjidhje shumë të shpejta, është metoda operative e bazuar në transformimet e Laplasit. Për të mos e rënduar tekstin me veprime matematike, do të japim formën e zgjidhjes së përgjithshme për linjat e njëtrajtshme pa humbje ($r = 0$ dhe $g = 0$);

$$u = \varphi(x - vt) + \psi(x + vt); \qquad (10-2)$$

$$Zi = \varphi(x - vt) - \psi(x + vt) \qquad (10-3)$$

ku : v është shpejtësia e përhapjes së valëve në linjë;
Z është rezistenca valore e linjës.

Për linjat pa humbje shpejtësia e përhapjes së va-

lëve dhe rezistenca valore jepen prej formulave :

$$v = 1/\sqrt{L\,C} \qquad (10\text{-}4)$$

$$Z = \sqrt{L/C}$$

Formulat (10-2),(10-3) tregojnë se tensioni ose rryma në një pikë të linjës në varësi të kohës mund të përcaktohet duke mbledhur dy valë bredhëse me shpejtësi të barabartë, por me shënjë të kundërt.
Në qoftë se shënojmë :

$$u_{\varphi} = \varphi(x - vt),$$

$$u_{\psi} = \psi(x + vt), \qquad (10\text{-}6)$$

tensioni dhe rryma mund të shkruhen shkurtimisht :

$$u = u_{\varphi} + u_{\varphi},$$

$$i = i_{\varphi} + i_{\varphi}, \qquad (10\text{-}7)$$

me kondite që

$$u_{\varphi} = Z\, i_{\varphi},$$

$$u_{\psi} = -Z\, i_{\psi}. \qquad (10\text{-}8)$$

Le të analizojmë kuptimin fizik të komponentëve valorë φ dhe ψ në formùlat (10-6) .

Në pikën x_1 të linjës (fig.lo-2) në çastin t_1, komponentja u_{φ} do të ketë një vlerë të caktuar :

$$u_{\varphi 1} = (x_1 - vt_1)$$

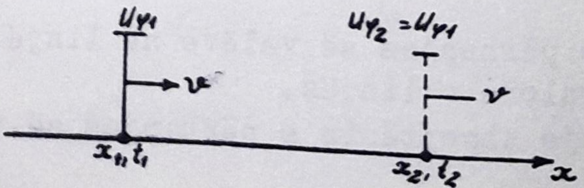


Fig.10-2.Përhapja e valës goditëse të tensionit në linjën e njëtrajtshme.

Lind pyetja : në cilin çast t_2 në largësinë x_2, tensioni $u\varphi_2$ do të jetë i barabartë me $u\varphi_1$? Përgjigja është e thjeshtë, duhet të vlejë :

$$\varphi(x_1 - vt_1) = \varphi(x_2 - vt_2) \qquad (10\text{-}9)$$

Në formë të përgjithshme e njëjta vlerë e tensionit do të çfaqet në pika të ndryshme të linjës, në qoftë se largësia x dhe koha t do të përmbushin konditën :

$$x - vt = x_1 - vt_1 = \text{konst} \qquad (10\text{-}10)$$

Ekuacioni (10-10) tregon se vlera $u\varphi_1$ zhvendoset gjatë linjës me shpejtësi konstante :

$$dx/\ dt = v, \qquad (10\text{-}11)$$

në drejtimin pozitiv të boshtit x. Kjo valë quhet goditëse. Në mënyrë analoge provohet se komponentja ;

$$u\psi = \psi(x + vt) = \psi(k) ;$$

$$x + vt = k;$$

$$dx/dt = -v; \qquad (10\text{-}12):$$

përhapet në linjë me shpejtësi v, veçse në kahe të kundërt me valën goditëse $u\varphi$. Vala $u\psi$ quhet e reflektuar. Nuk është vështirë të vërtetohet se edhe komponentet e rrymës do të jenë njëra goditëse dhe tjetra e reflektuese. **Studimi i proçeseve valore mund të studjohet duke analizuar veças** si valët goditëse ashtu dhe ato reflektuese. Shuma e valës goditëse dhe reflektuese në një pikë të linjës do të japë vlerën e kërkuar të tensionit ose të rrymës në çastin e dhënë.

Rezistenca valore Z, e llogaritur sipas formulës (10-5), ka njësi matjeje omin, njëlloj si rezistenca aktive. Por kuptimi fizik i rezistencës valore nuk duhe-

ekuivalentuar aspak me rezistencat e zakonshme. Duke kaluar rrymë elektrike në rezistencën aktive, në të zhvillohet nxehtësi, në induktivitetin L grumbullohet energji magnetike, kurse në kapacitetin C energji elektrike. Rezistenca valore Z tregon rezistencën që has vala elektromagnetike gjatë rrugës së saj. Vala elektromagnetike, ose e tensionit dhe e rrymës, duke bredhur në linjë has në L dhe në C (në njësinë e gjatësisë). Ajo duhet të krijojë në L fushën magnetike, kurse në C fushën elektrike.

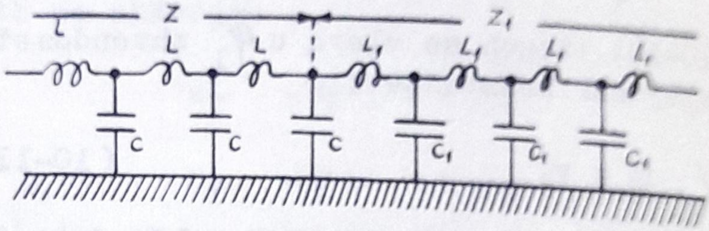


Fig. 10-3. Ndryshimi i rezistencës valore në linjë me ndryshimin e parametrave L.C.

Për deri sa në çdo pjesë të linjës induktiviteti dhe kapaciteti në njësinë e gjatësisë nuk ndryshojnë, vala gjen po të njëjtën pengesë për ngarkimin e linjës me energji elektromagnetike. Por në qoftë se në pikën A (fig.10-3) induktiviteti dhe kapaciteti në gjatësinë e linjës ndryshojnë nga L në L_1 dhe nga C në C_1, valës do t'i duhet të grumbullojë energji elektromagnetike në ndryshme, d.m.th. ajo do të pengohet në mënyrë të ndryshme. Kjo pengesë që i nështrohet valës elektromagnetike nga linja përfaqësohet prej rezistencës valore Z. Ndryshimi i parametrave L,C do të ndryshojë jo vetëm rezistencës valore Z, por edhe shpejtësinë e përhapjes së valëve v, të cilat nga pikëpamja matematike shprehen nëpërmjet formulave (10-4), (10-5).

Metoda e zgjidhjes së qarqeve elektrike me parametra të shpërndarë ka specifikën e vet. Para se të japim disa rregulla të përgjithshme për zgjidhjen e këtyre qarqeve le të analizojmë rastin praktik të linjës

së njëtrajtshme me humbje. pikë

Tensioni dhe rryma në një të linjës mund të llogariten me ndihmën e komponenteve goditëse (φ) dhe reflektuese (ψ), në rastin kur rezistenca e përcjellshmërisë mund të mos merret parasysh (g =o), sipas formulave:

$$u = u_{\varphi} e^{-\beta x} + u_{\psi} e^{\beta x};$$

$$i = i_{\varphi} e^{-\beta x} + i_{\psi} e^{\beta x}; \qquad (10\text{-}13)$$

Konstantja β quhet "koeficienti i shuarjes" dhe llogaritet sipas formulês :

$$\beta = r/\ 2\ Z \qquad (10\text{-}14)$$

Vlera e rezistencës aktive r përbëhet prej rezistencës aktive të përcjellësit në njësinë e gjatësisë dhe prej rezistencës së tokës (ku bëhet kthimi i rrymës në burimin e ushqimit) po në njësinë e gjatësisë.

Në fig. 10-4 tregohet ndryshimi që pëson një vlerë e tensionit goditës në pika të ndryshme të linjës. Në fig.10-4(a) vlera e tensionit nuk zvogëlohet, sepse linja nuk ka humbje (linjë ideale), ndërsa në fig.10-4 (b) vlera e tensionit zvogëlohet, sepse linja ka humbje (linjë reale).

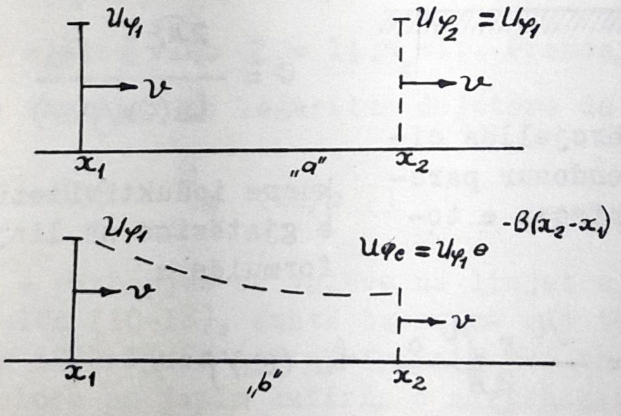


Fig. 10-4. Shuarja e valës goditëse në linjën e njëtrajtshme a) linjë pa humbje b)linjë me humbje.

Formula (10-13) tregon se edhe komponentet reflektuese ψ gjatë bredhjes në linjë zvogëlohen. Nga pikëpamja matematike kjo shpjegohet se "x" ka shënjë negative, sepse valët reflektuese bredhin në kahe të kundërt me atë pozitive të linjës.

10-2 Llogaritja e rezistencës valore dhe e shpejtësisë së përhapjes së valëve në linjat e njëtrajtshme

Përcjellësat e linjave zakonisht kanë seksion rrethor. Lartësia e vendosjes së tyre nga sipërfaqja e tokës ndryshon. Lartësia më e madhe është në pikat e varjes në shtyllat, kurse më e ulta diku midis shtyllave. Që të konsiderohen linja e njëtrajtshme, duhet të pranojmë një lartësi mesatare (h) të përcjellësit nga sipërfaqia e tokës (fig.10-5) .

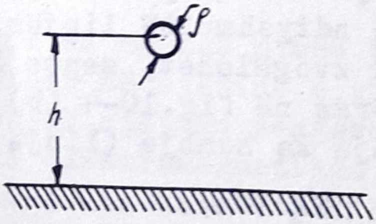


Fig.10-5. Përcjellës cilindrik i vendosur paralel me sipërfaqen e tokës.

Kapaciteti i një përcjellësi cilindrik, paralel me sipërfaqen e tokës në njësinë e tokës në njësinë e gjatësisë, llogaritet sipas formulës së njohur :

$$C = \frac{2\pi \varepsilon_r \varepsilon_o}{\ln(2h/\rho)} \qquad (10\text{-}15)$$

kurse induktiviteti në njësinë e gjatësisë së linjës, prej formulës :

$$L = \frac{\mu_r \mu_o}{2\pi} \ln(2h/\rho) \qquad (10\text{-}16)$$

Duke u mbështetur në formulat që shprehin rezistencën valore (lo-5) dhe shpejtësinë e përhapjes së valëve (10-4) mund të llogariten këto karakteristika për rastin

e përcjellësit cilindrik të vendosur paralel me sipërfaqen e tokës :

$$Z = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu_r \mu_o}{\varepsilon_r \varepsilon_o}}\ l_n\ (2h/\rho) \ ; \qquad (10\text{-}17)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \mu_o \varepsilon_r \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} \ ; \qquad (10\text{-}18)$$

ku : c është shpejtësia e përhapjes së dritës në vakuum (300000 km/sek ose 300 m/μsek);

ε_o, μ_o janë konstantja dielektrike dhe përmeabiliteti i vakuumit.

$(\varepsilon_o = 1/4\pi.9.10^9$ F/m; $\mu_o = 4\pi.10^{-7}$ H/m).

Duke zëvendësuar në formula (10-17), konstantet e vakuumit do të marrim shprehjen :

$$Z = 60 \sqrt{\mu_r / \varepsilon_r}\ .\ l_n\ (2h/\rho) \qquad (10\text{-}19)$$

Për linjat ajrore vlen $\varepsilon_r = 1$; $\mu_r = 1$;. Prandaj formula (10-19), e shprehur në logaritma dhjetore do të jetë :

$$Z = 138\ l_g\ (2h/\rho) \qquad (10\text{-}20)$$

Shpejtësia e përhapjes së valëve në linjat ajrore, në bazë të formulës (10-18), është baras me atë të dritës.

Për të krijuar një përfytyrim mbi madhësinë e rezistencës valore po japim kufirin e ndryshimit të saj; Z = 400 deri 500Ω.

Kablot me izolacion letre të imprenjuar në vaj, shpejtësinë e përhapjes së valëve e kanë afërsisht sa

gjysma e shpejtësisë së dritës, sepse konstantja dielektrike e letrës së imprenjuar është rreth 4, kurse permeabiliteti i letrës 1. Rezistenca valore e kablove është shumë më e vogël se e linjave ajrore. Për kablo 3 deri 10 kV ajo ndryshon në kufij të gjerë: Z = 8 deri 40Ω. Rezistenca valore në kablot është më e vogël, sepse induktiviteti i tyre është më i vogël kurse kapaciteti kundrejt mbulesës metalike është më i madh.

10-3 . Llogaritja e tensionit dhe e rrymës në pikën e takimit të dy linjave me rezistenca valore të ndryshme. Skema e zëvendësimit.

Valët e tensionit dhe të rrymës, në linjat e njëtrajtshme pa humbje, nuk pësojnë deformime. Por në pikën ku bashkohen dy linja me rezistenca valore të ndryshme (fig.10-6) do të ndodhin thyerje dhe reflektime të valëve. Si rrjedhim në linjën 2 do të bredhin valë që ndryshojnë nga ato që vijnë prej linjës 1, (u_φ, i_φ) . Ndryshime do të ketë edhe në linjën 1, përshkak të reflektimit të valëve. Për të thjeshtuar studimin tonë do të pranojmë

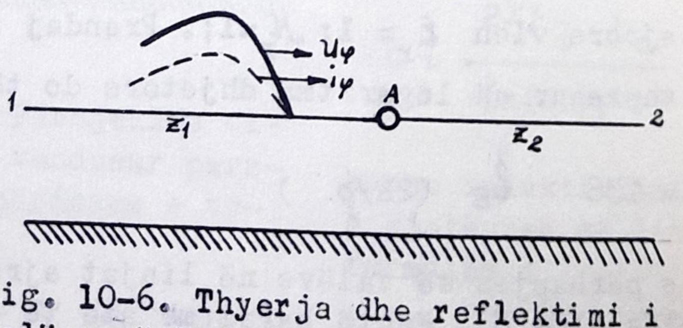


Fig. 10-6. Thyerja dhe reflektimi i valëve në kufirin e dy linjave të njëtrajtshme.

që gjatësia e linjave 1 dhe 2 është e pafundme. Ky pranim përjashton kthimin e valëve të reflektuara nga skajet e linjave.

Le të jetë $U\varphi_1$ vala goditëse e tensionit në linjën 1. Kjo valë do të shoqërohet edhe me atë të rrymës $i\varphi_1 = u\varphi_1 / Z_1$. Në pikën e takimit të dy linjave (A) do të lindin valët e reflektuara. Në qoftë se shënojmë me U_A dhe I_A tensionin dhe rrymën në pikën A, në bazë të formulave themelore themelore (10-7), mund të shkruajmë :

1) për linjën 1 :

$$U_A = U\varphi_1 + U\psi_1 ;$$

$$i_A = i\varphi_1 + i\psi_1 . \qquad (10\text{-}21)$$

Duke shfrytëzuar formulat (10-8) mund të shkruajmë :

$$i_A = U\varphi_1 / Z_1 - U_1 / Z_1 :$$

ose

$$Z_1 \, i_A = U\varphi_1 - U\psi_1 \qquad (10\text{-}22)$$

Duke mënjanuar tensionin $U\psi$, me ndihmën e ekuacionit të parë të formulave (10-21), do të marrim :

$$2\,U\varphi_1 = U_A + Z_1 \, i_A ; \qquad (10\text{-}23)$$

2) për linjën 2, duke shënuar me $U\varphi_2$ dhe $i\varphi_2$, valët goditëse për linjën përkatëse, dhe duke patur parasysh që reflektime në këtë linjë nuk ka, në bazë të formulave (10-7) do të kemi :

$$U_A = U\varphi_2 + U\psi_2 = U\varphi_2 ;$$

$$i_A = i\varphi_2 + i\psi_2 = i\varphi_2 \qquad (10\text{-}24)$$

Gjithashtu do të vlejë barazimi :

$$U\varphi_2 = Z_2 \; i\varphi_2 \qquad (10\text{-}25)$$

Formulat (10-23) e (10-25) mund të shkruhen përfundimisht :

$$2U\varphi_1 = U\varphi_2 + Z_1 i\varphi_2,$$

$$U\varphi_2 = Z_2 \; i\varphi_2. \qquad (10\text{-}26)$$

Sistemi i mësipërm tregon se skema me parametra të shpërndarë (fig. 10-6) mund të studjohet me ndihmën e skemës me parametra të përqëndruar, sipas fig. 10-7. Zbatimi i formulave të Kirkofit për këtë qark, japin formulat e sistemit (10-26) . Ky transformim ka rëndësi të madhe praktike. Sikurse shihet rezistencat valore zëvëndësohen me rezistenca të zakonshme aktive, që kanë rezistencë të barabartë, me rezistencat valore përkatëse. Ky rregull, siç do të analizohet më poshtë, është i përgjithshëm, d.m.th. kur numri i linjave të njëtrajtshme që takohen në pikën A mund të jetë më i madh se dy.

Skema e fig.10-7 tregon se f. e.m. e burimit është sa dyfishi i valës $U\varphi_1$.

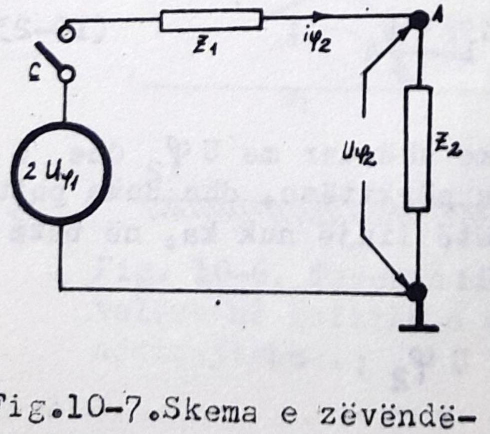


Fig.10-7.Skema e zëvëndësimit e qarkut valor sipas figurës 10-6.

Në qoftë se në pikën A (fig.10-6) do të lidhej jo linja e njëtrajtshme por një rezistencë aktive e zakonshme me vlerë në om, se ajo valore e linjës 2,nga zbatimi i formulave të përhapjes së valëve do të fitonim po sistemin (2-26).Ky fakt i rëndësishëm tregon se një linjë e njëtrajtshme e pafundme mund të zëvendësohet me një rezistencë të përqëndruar, që lidhet

në pikën A kundrejt tokës dhe që ka vlerë të barabartë me rezistencën valore të linjës përkatëse .

Le të llogaritim koeficientët e thyerjes dhe të reflektimit në kufirin e dy linjave të njëtrajtshme.

Në qoftë se shënohet me α_u, α_i koeficienti i thyerjes për tensionin dhe rrymën, si përkufizim vlera e tyre jepet prej raporteve :

$$\alpha_u = \frac{U\varphi_2}{U\varphi_1} \; ; \quad \alpha_i = \frac{i\varphi_2}{i\varphi_1} \; ; \qquad (10-27)$$

kurse për koeficientët e reflektimit, βu, βi:

$$\beta_u = \frac{U\psi_1}{U\varphi_1} \; ; \quad \beta_i = \frac{i\psi_1}{i\varphi_1} \qquad (10-28)$$

Duke mënjanuar rrymën $i\varphi_2$ në sistemin (10-26) do të marrim koeficientin e thyerjes për tensionin :

$$\alpha_u = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad (10-29)$$

kurse për rrymën :

$$\alpha_i = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} . \qquad (10-30)$$

Duke kombinuar formulat (10-21),(10-24),(10-26) dhe(2-28) mund të llogariten koeficientët e reflektimit :

$$\beta_u = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \; ; \qquad (10-31)$$

$$\beta_i = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} . \qquad (10-32)$$

Duke ndryshuar madhësinë valore Z_2 nga o në ∞, vërejmë se koeficientët e thyerjes dhe të reflektimit do të ndryshojnë midis -1 deri 2. Në tabelën 10-1 jepet vlera e koeficientëve të sipërpërmendur, për disa vlera karakteristike të Z_2. Kur $Z_2=Z_1$, reflektimet në valët mungojnë. Valët e tensionit dhe të rrymës në këtë rast nuk pësojnë deformime. Kjo ka rëndësi të madhe në qarqet valore,

Tabela 10-1

Z_2	0	Z_1	$10\ Z_1$	∞
α_u	0	1	1,82	2
α_i	2	1	0,182	0
β_u	-1	0	0,818	1
B_i	1	0	-0,818	-1

sidomos në ato me frekuencë të lartë, ku për të mos shkaktuar shtrembërime në sinjalet resistenca e përgjithshme e qarkut në një pikë e marrë në një anë, duhet të ketë gjithmonë të njëjtën vlerë.

10-4. Rënia e valëve në nyjen me shumë degëzime

Për ta përgjithësuar problemin, le të vendosim në nyjen A një rezistencë të çfardoshme Z_A, me parametër të përqëndruar (fig. 10-8).

Supozojmë që prej secilës linje, në drejtim të nyjes A, bredhin valët goditëse të tensionit $U\varphi k$, ku k = 1 deri n. Përveç valëve goditëse të njohura le të jenë edhe rezistencat valore të këtyre linjave.

Valët goditëse $U\varphi k$, duke mbrijtur në nyjen A, do të pësojnë thyerje dhe reflektime. P. sh. vala goditëse e tensionit $U\varphi_1$ në pikën A, do të reflektohet në linjën e parë dhe do të thyhet në të gjithë linjat e tjera si dhe në rezistencën Z_A. Të njëjtin proces do të pësojnë edhe valët goditëse të linjave të tjera. Kështu, vala e reflektuar në linjën 1(U_{A1}) do të formohet jo vetëm nga vala e reflektuar $U\psi_1$, por edhe nga të gjitha valët e thyera të linjave të tjera. Prandaj vala U_{A1} do të përfaqësojë një valë rezultante që do të bredhë prej pikës A në linjën 1, dhe si rrjedhim do të luajë rolin e valës së reflektuar në këtë linjë. I njëjti arësyetim është i vlefshëm edhe për linjat e tjera. Duke u mbështetur në formulat themelore të përhapjes së valëve në linjat e njëtratshme, për pikën A, mund të shkruajmë :

$$U_A = U\varphi_1 + U\psi_1 = U\varphi_2 + U\psi_2 = \ldots = U\varphi_k + U\psi_k = \ldots = U\varphi_n + U\psi_n$$

$$i_A = (i\varphi_1 + i\psi_1) + (i\varphi_2 + i\psi_2) + \ldots + (i\varphi_k + i\psi_k) + \ldots + (i\varphi_n + i\psi_n)$$

Këto formula mund të shkruhen :

$$U_A = U\varphi_k + U\psi_k \; ; \quad k=1, 2, \ldots n \qquad (10-33)$$

$$i_A = \sum_{k=1}^{n} (i\varphi_k + i\psi_k) \qquad (10-34)$$

Gjithashtu, mund të shkruhen barazimet :

$$i\varphi_k = U\varphi_k / Z_k \; ; \qquad i\psi_k = - U\psi_k / Z_k$$

Duke mënjanuar rrymat $i\varphi_k$, $i\psi_k$, në formulën (2-34) do të merret :

$$i_A = \sum_{k=1}^{n} \left(\frac{U\varphi_k}{Z_k} - \frac{U\psi_k}{Z_k} \right)$$

ose me ndihmën e barazimit (2-33);

$$i_A = \sum_{k=1}^{n} \frac{U\varphi_k}{Z_k} - \frac{U_A - U\varphi_k}{Z_k} ;$$

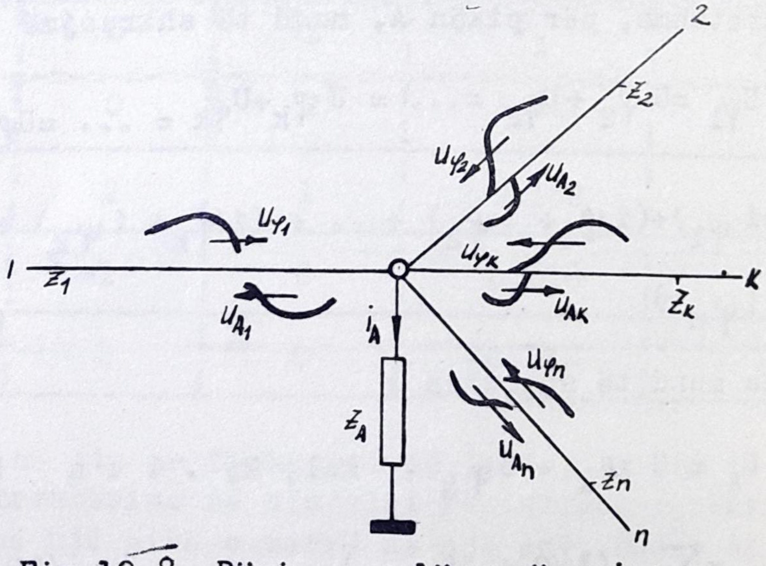


Fig.10-8. Rënia e valëve në nyjen me shumë linja të njëtrajtëshme me gjatësi të pafundmë.

ose

$$i_A = \sum_{k=1}^{n} \frac{2U\varphi_k}{Z_k} - U_A \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{Z_k} \qquad (10\text{-}35)$$

Shuma e inverseve të Z_k përfaqëson inversin e resistencës ekuivalente Z_e të fituar nga lidhja në paralel e të gjitha rezistencave të përqëndruara me madhësi resistencën valore përkatëse të secilës linjë, pra do të marrim :

$$\frac{1}{Z_e} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{Z_k} \qquad (10\text{-}36)$$

Duke marrë parasysh këtë zëvendësim, formula (10-35) mund të shkruhet :

$$Z_e\, i_A + U_A = 2 \sum_{k=1}^{n} \frac{Z_e}{Z_k}\, U_{\varphi k} \qquad (10\text{-}37)$$

Le të zëvendësojmë :

$$U_{\varphi e} = \sum_{k=1}^{n} \frac{Z_e}{Z_k}\, U_{\varphi k} \; ; \qquad (10\text{-}38)$$

e cila përfaqëson valën goditëse ekuivalente të të gjitha linjave në pikën A, dhe do të marrim se fundi formulën :

$$2\, U_{\varphi e} = U_A + Z_e\, i_A \qquad (2\text{-}39)$$

Siç shihet, kjo formulë është e ngjashme me atë (10-23). Prandaj skema valore e fig. 10-8 mund të zëvendësohet me skemën me parametra të përqëndruar sipas fig. 10-9. Për këtë mjafton të shtojmë edhe ekuacionin :

$$U_A = Z_A \cdot i_A$$

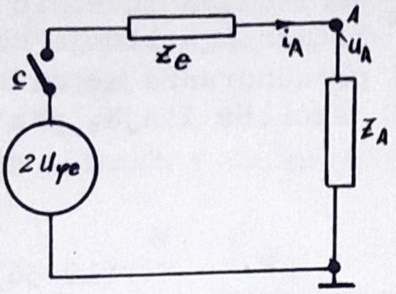


Fig.10-9. Skema ekuivalente për llogaritjen e skemës valore sipas fig.10-8.

Leverdia e këtij transformimi është e madhe, sepse për llogaritjen e qarqeve me parametra të shpërndarë mund të shfrytëzojmë të gjitha metodat e llogaritjes së qarqeve me parametra të përqëndruar.

Së fundi, vemë në dukje se rezistenca Z_A mund të jetë aktive, induktive, kapacitive, ose)farëdo llo kombinimi i tyre. Procesi valor kthehet nga llogaritja e përhapjes së valëve në zgjidhjen e procesit kalimtar në qarkun e fig.10-9.

10-5. Përhapja e valëve në mbështjellet e transformatorëve

Ndryshimi midis linjave të njëtrajtshme dhe mbështjellës së transformatorit qëndron në kapacitetin midis spirave ose bobinave. Skema e zëvendësimit e mbështjellës të transformatorëve tregohet në fig.10-10 .Në qoftë se shënohet me K kapaciteti në njësinë e gjatësisë, për kondensatorët midis spirave ose bobinave, kapaciteti gjatësor në një element të mbështjellës do të jetë $K/\partial x$ lidhje seri). Parametrat e tjerë L dhe C do të jenë njëlloj si për linjën e njëtrajtshme $L\partial x$, $C\partial x$. Induktiviteti L është afërsisht i barabartë me atë të shpërndarjes së transformatorit. Në transformatorët ndikon në një farë shkalle edhe induktiviteti reciprok, të cilin për thjeshtësi nuk do ta marrim parasysh. Supozojmë se në transformator vepron një valë tensioni katërkëndësh kënddrejtë e pafundme me aplitudë U_o. Në çastin fillestar (t = 0) rrymë në induktivitetët L nuk kalon. Prandaj për t = o skema e zëvendësimit e transformatorit do të përbëhet vetëm prej elementeve kapacitive K dhe C. Kapaciteti rezultant për t = o quhet kapacitet për hyrje e transformatorit (C_h). Ngarkesa elektrike në pllakat e

kondensatorit elementar gjatësor K/ dx, për çastin t = 0 (meqenëse tensioni varet vetëm nga largësia x, do të punojmë me diferenciale të plota), do të jetë :

$$Q = \frac{K}{dx} dU \qquad (10\text{-}40)$$

Ngarkesa në elementin cdx do të jetë :

$$dQ = Cdx.U \qquad (10\text{-}41)$$

Ngarkesa Q mund të eliminohet prej barazimeve të sipërme në qoftë se derivojmë shprehjen (2-40) :

$$\frac{dQ}{dx} = K \frac{d^2U}{dx^2} ;$$

dhe duke zëvendësuar dQ/dx sipas shprehjes (10-41), do të marrim ekuacionin diferencial të gradës së dytë:

$$\frac{d^2U}{dx^2} = \frac{C}{K} U, \qquad (10\text{-}42)$$

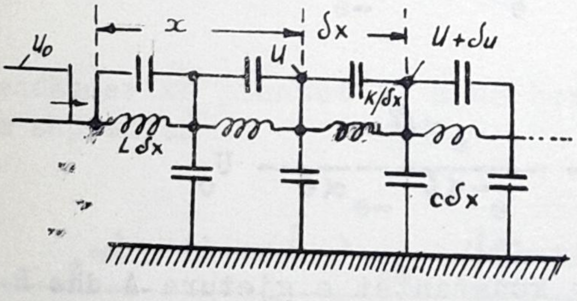


Fig. 10-10. Skema e zëvëndësimit e transformatorit për studimin e proceseve valore.

i cili, siç dihet, ka zgjidhjen e përgjithshme :

$$U = A e^{\alpha x} + B e^{-\alpha x} \qquad (10\text{-}43)$$

$$\alpha = \sqrt{C/K} \qquad (10\text{-}44)$$

Konstantet A dhe B mund të përcaktohen prej konditave kufitare, d.m.th. prej konditave në fillim dhe në fund të mbështjellës. Në fillim të mbështjellës (x=o) tensioni do të jetë U_o. Në fund të mbështjellës ($x=\ell$, ku ℓ është gjatësia e përcjellësit të mbështjellës), d.m.th. në neutër të transformatorit, tensioni do të varet në se neutri është i tokëzuar ose i izoluar nga toka. Për mbështjellat me neutrat të tokëzuar tensioni do të jetë zero, kurse për ato të izoluara, rryma zero (ose Q = o).

1) <u>Mbështjellë me neutër të tokësuar</u>. Duke vendosur konditat kufitare në shprehje (2-43), do të marrim:

$$U_o = A + B;$$

$$o = A e^{\alpha \ell} + B e^{-\alpha \ell};$$

ose

$$A = \frac{e^{-\alpha \ell}}{e^{-\alpha \ell} - e^{\alpha \ell}} U_o;$$

$$B = -\frac{e^{\alpha \ell}}{e^{-\alpha \ell} - e^{\alpha \ell}} U_o \qquad (10\text{-}45)$$

Duke zëvendësuar konstantet e gjetura A dhe B, në shprehjen (10-43), do të marrim :

$$U = \frac{e^{\alpha l(1-x/l)} - e^{-\alpha l(1-x/l)}}{e^{\alpha l} - e^{-\alpha l}} U_0, \quad (10\text{-}46)$$

ose

$$U = \frac{sh\,\alpha l\,(1-x/l)}{sh\,\alpha l} U_0 \quad (10\text{-}47)$$

2) Mbështjellë me neutër të izoluar. Duke vehdosur konditën kufitare në fund të mbështjellës do të marrim :

$$0 = A e^{\alpha l} - Be^{-\alpha l},$$

e cila e kombinuar me konditën për $x = 0$, do të na lejojë të marrim :

$$A = \frac{e^{-\alpha l}}{e^{\alpha l} + e^{-\alpha l}} U_0 ;$$

$$B = \frac{e^{\alpha l}}{e^{\alpha l} + e^{-\alpha l}} U_0 \quad (10\text{-}48)$$

Duke zëvendësuar konstantet A, B në barazimin (2-43) do të marrim shprehjen

$$U = \frac{e^{\alpha l(1-x/l)} + e^{-\alpha l(1-x/l)}}{e^{\alpha} + e^{-\alpha l}} U_0 ; \quad (10\text{-}49)$$

ose

$$U = \frac{ch\alpha l(1-x/l)}{ch\,\alpha l} U_o \qquad (10\text{-}50)$$

Siç shihet, shpërndarja fillestare (t=o) e tensionit në pika të ndryshme të mbështjellës nuk është e njëtrajtshme. Ndikim të madh në shpërndarjen e tensionit kanë

$$\alpha l = l\sqrt{C/k} = \sqrt{(Cl)/(k/l)};$$

ose

$$\alpha l = \sqrt{C_o/k_o} \qquad (10\text{-}51)$$

ku C_o dhe K_o përfaqësojnë kapacitetin eplotë tërthor dhe gjatësor të mbështjellës. Në transformatorët realë $\alpha l > 5$, vlera mesatare rrotullohet rreth $(\alpha l)_{mes} \cong 10$. Për këtë arësye $e^{\alpha l} \gg e^{-\alpha l}$, gjë e cila tregon se për pjesën fillestare të mbështjellës (shih formulat 2-47 dhe 2-50) tensioni ka pothuaj të njëtën vlerë, praktikisht deri në 80% të gjatësisë së mbështjellës.

Në fig.10-11 tregohet shpërndarja fillestare e tensionit në gjatësinë e mbështjellës së transformatorit për $\alpha l = 5$. Kështu , deri në 80 % të gjatësisë së mbështjellës tensioni është praktikisht i njëjtë si për neutrin e tokëzuar ashtu edhe për atë të izoluar. Nga ana tjetër, figura 10-11 tregon se tensioni më i madh zbatohet në pjesën fillestare të mbështjellës. Gradienti maksimal i tensionit vepron në fillim të mbështjellës. Duke marrë parasysh vlerën relativisht të madhe të $\alpha l > 5$, shpërndarja në pjesën fillestare të mbështjellës mund të shprehet;

$$U = U_o\, e^{-\alpha x} \qquad (10\text{-}52)$$

Gradienti i tensionit do të jetë :

$$E = dU/dx = -\alpha U_o\, e^{-\alpha x} \qquad (10\text{-}53)$$

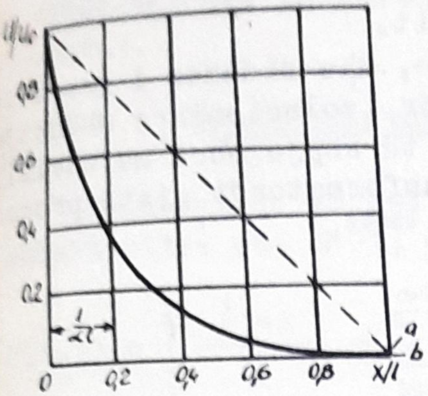


Fig. 10-11. Shpërndarja fillestare e tensionit gjatë mbështjellës për $\alpha l = 5$: a) neutër i izoluar; b) neutër i tokësuar.

Vlera maksimale e gradientit do të jetë për $x = 0$,

$$E_{mak} = -\alpha U_o = -(\alpha l) U_o / l$$

(10-54)

Raporti U_o/l përfaqëson gradientin e tensionit sikur shpërndarja e tensionit të ishte e njëtrajtshme. Formula (10-54) tregon se gradienti maksimal është (αl) herë më i madh se U_o/l, d.m.th. më shumë se 5 herë. P.sh. në qoftë se amplituda e mbitensionit do të ishte $U_o = 5\ U_{fazës}$, gradienti i tensionit do të zmadhohej 50 herë kundrejt gradientit të tensionit që vepron në fillim të mbështjellës për kondita normale të shfrytëzimit (për $\alpha l = 10$).

10-6. Gradientët e tensionit në izolacionin gjatësor të mbështjellës të transformatorit.

Nga analiza e mësipërme duket sikur mbitensionet e rrezikshme veprojnë në pjesën fillestare të mbështjellës, prandaj do të mjaftonte të forcohej izolacioni në pjesën fillestare të saj. Por eksperienca e shfrytëzimit ka treguar se shpime të izolacionit midis spirave mund të ndodhin edhe në pjesë të tjera të mbështjellës. Në qoftë se do të maten gradientët e tensionit në pika të ndryshme të mbështjellës në varësi të kohës, do të vërejmë se për kohë shumë të vogla gradienti është më i madh në pjesën fillestare të saj, kurse me kalimin e kohës gradienti rritet dhe në pika të tjera (shih fig. 9-12). Forma e gradientit ka trajtën e një impulsi. Maksimumi i këtyre impulseve

vonohet në kohë, me largimin e pikës që studjohet kundrejt fillimit të mbështjellës. Kjo tregon se gradiente të rrezikshme tensioni mund të çfaqen edhe në pika të tjera të mbështjellës së transformatorit.

Shkaku i mbitensioneve, dhe sidomos i gradientëve të tensionit të rrezikshëm për izolacionin e mbështjellave të transformatorëve, mund të shpjegohet me zhvillimin e lëkundjeve që lindin në transformatorët gjatë procesit të hyrjes së valëve në ta.

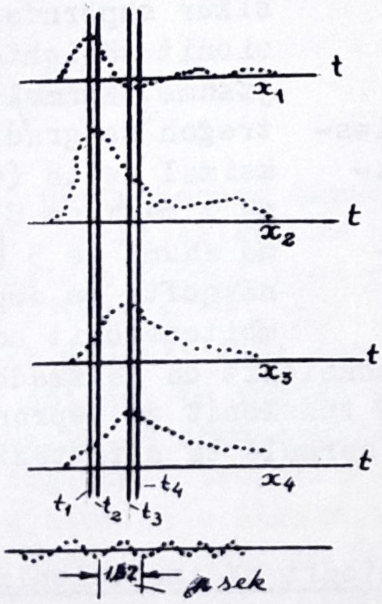


Fig.10-12. Forma karakteristike të gradientit të tensionit për pika të ndryshme të mbështjellës.

10-7. Zhvillimi i lëkundjeve në mbështjellën e transformatorit.

Në qoftë se procesi transitor do të studiohet në varësi të kohës, në skemën e zevendesimit të transformatorit (fig.10-10) duhet të merret parasysh induktiviteti i mbështjellës. Duke shtruar një seri barazimesh diferenciale, njëlloj si për linjat homogjene, mund të merret ekuacioni diferencial me derivate të pjesshme :

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - LK \frac{\partial^4 U}{\partial x^2 \partial t^2} \qquad (10-55)$$

Për ta thjeshtuar tekstin nga veprimet matematike do të japim zgjidhjen e plotë të këtij ekuacioni diferencial. Zgjidhja do të varet nga regjimi i neutrit të transformatorit.

1) Transformator me neutër të tokësuar

Tensioni në varësi të largësisë x, prej fillimit të mbështjellës dhe të kohës t, do të shprehet :

$$U(x,t) = \left[\frac{\ell - x}{\ell} - \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin \mu_k x \cos \omega_k t \;\; U_o \ldots\ldots, \right] \qquad (10\text{-}56)$$

ku

$$A_k = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{k\left[1 + \frac{K}{C} \frac{(k\pi)^2}{\ell}\right]} \; ; \; \omega_k = \frac{k\pi/\ell}{\sqrt{LC\left[1 + \frac{K}{C} \left(\frac{k\pi}{\ell}\right)^2\right]}},$$

$$\nu_k = \frac{k\pi}{\ell} \qquad (10\text{-}57)$$

2) Transformator me neutral të izoluar

Në këtë rast, tensioni do të shprehet me formulat (10-56) e (10-57), me kondîtë që konstantja k të zëvendësohet me konstanten $\frac{2k+1}{2}$, ku k të ndryshojë jo nga 1 deri në infinit, por nga 0; 1; 2; ...... deri në infinit.

Shprehja (10-56) tregon se në rastin e transformatorëve, që godîtën prej valës katërkëndësh këndrejtë, me amplitudë U_o, kemi të bëjmë me një numër shumë të madh lëkundjesh. Formula që jep tensionin në çastin fillestar (t = 0), sipas shprehjes (10-56), do të jetë :

$$U(x,0) = \left[\frac{\ell - x}{\ell} - \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin \mu_k x \right] U_o \qquad (10\text{-}58)$$

Kjo shprehje, duke marrë parasysh ndryshimin e koeficientit k, për rastin e transformatorit me neutër të tokëzuar ose të izoluar, jep po ato vlera të shprehjeve (2-47) e (2-50).

Formula (2-58) tregon se shpërndarja e tensionit fillestar mund të ndahet në dy komponente. Komponentja eelirë :

$$-\sum^{\infty} A_k \sin \mu_k x,$$

përfaqëson në vetëvete një seri harmonikash gjatësore shuma e të cilave në fig. 10-13 tregohet e vijëzuar. Formula (10-56) tregon secila harmonikë gjatësore lëkundet në varësi të kohës, me frekuencën përkatëse ω_k. Lëkundja e harmonikave të ndryshme shkakton që shpërndarja e tensionit të ndryshojë me kohën . Në fig. 10-13 tregohen disa shpërndarje të tensionit gjatë mbështjellës së transformatorit për kohë të ndryshme. Gjatë procesit të lëkundjeve të tensionit në një çast të veçantë tensioni në një pikë të caktuar të mbështjellës fiton vlerën maksimale. Në pika të ndryshme të mbështjellës tensioni mbrrinë në vlerën maksimale në çaste të ndryshme. Bashkimi i gjithë këtyre maksimumeve, që në fig.10-13 tregohet me një kurbë të vijëzuar, përfaqëson kurbën mbështjellëse të tensionéve maksimale.

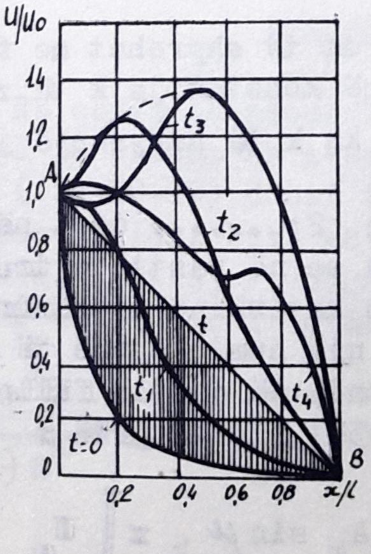


Fig.10-13. Procesi tranzitor në mbështjellën e transformatorit me neuter të tokëzuar kur vepron vala katërkëndësh këndrejtë e pafundme, $t = 0 < t_1 < t_2 < t_3 < t_4$.

Kështu, në pika të ndryshme të mbështjellës, mund të veprojnë tensione dhe gradiente tensioni të konsiderueshme.

Në skemën e zëvendësimit të transformatorit (fig. 10-10) nuk u muar në konsideratë rezistenca aktive e mbështjellës. Në këtë rast të idealizuar, lëkundjet e tensionit në varësi të kohës nuk shihen, prandaj ato do të lëkunden kundrejt boshtit AB (fig. 10-13). Në fakt transformatorët gjithmonë kanë humbje aktive, prandaj lëkundjet me kalimin e kohës do të shuhen dhe shpërndarja e tensionit do të përfundojë sipas drejtëzës AB.

Në fig. 10-14 tregohet shpërndarje tensioni në çaste të ndryshme për transformatorin me neutër të izoluar. Boshti i lëkundjeve AB, në këtë rast, do të jetë paralel me boshtin e abshizave, i cili përfaqëson edhe shpërndarjen përfundimtare të tensionit në transformatorët realë (me humbje). Siç shihet, në afërsi të neutrit të izoluar mund të lindin mbitensione që e kalojnë mjaft tensionin U_0.

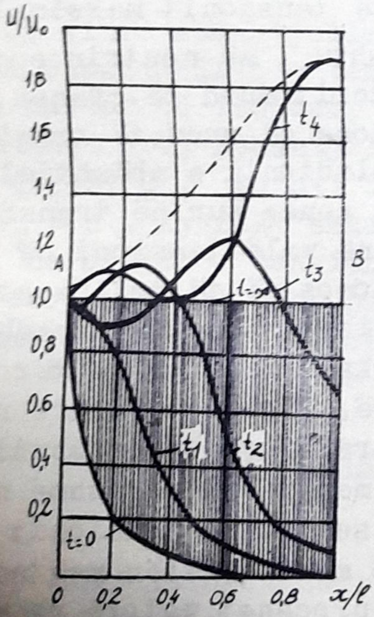


Fig. 10-14. Proçesi tranzitor në mbështjellën e transformatorit me neutër të izoluar, kur vepron vala katërkëndësh këndrejtë e pafundme; $t=0 < t_1 < t_2 < t_3 < t_4$.

Si përfundim, mund të thuhet se , për shkak të lëkundjeve të brendshme në mbështjellën e transformatorit, mund të lindin mbitensione dhe gradiente tensioni pothuajse në të gjitha pikat e mbështjellës, kjo veçse me vonesë kohe.

Deri tashi është analizuar rasti i transformatorëve me një fazë. Në transformatorët trifazë proceset valore do të varen gjithashtu nga regjimi i punimit të neutrit. Transformatorët trefazor, që punojnë me neutër të tokëzuar mund të studiohen për çdo fazë në veçanti, njëlloj si për rastin e mbështjellës së vetmuar. Në transformatorët trifazë me neutër të izoluar, vala e tensionit që hyn në njërën fazë do të depërtojë edhe në fazat e tjera. Në fig. 10-15 tregohet veprimi i valës së tensionit (valë katërkëndësh këndrejtë e pafundme) vetëm në një fazë. Për thjeshtimin e procesit valor mund të pranohen të tokëzuara pikat 2 dhe 3. Ky lëshim mund të justifikohet, sepse rezistenca valore e linjës, në krahasim me atë të transformatorit, është shumë e vogël. Në fig. 10-16 tregohet shpërndarja fillestare e tensionit (1), boshti i lëkundjeve (2) dhe kurba e mbështjelljes të tensionit maksimale (3).

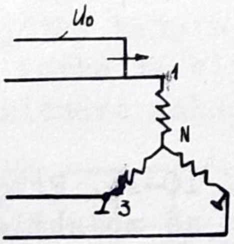


Fig. 10-15. Veprimi i valës së tensionit në një fazë të transformatorit me trifazë me neutër të izoluar.

Kështu , në neutrin e transformatorit mund të çfaqen mbitensione që mund të rrezikojnë izolacionin e mbështjellës në atë zonë. Kur në transformator hyjnë valë tensioni në dy dhe sidomos në të tri fazat njëkohësisht, tensioni zmadhohet, përkatësisht në neutër 2 dhe 3 herë. Proceset valore në autotransformatorët zhvillohen në mënyrë të ndryshme në qoftë se vala e tensionit hyn në mbështjellën me tension mesatar. Në fig. 10-17 tregohen proceset valore në mbështjellat e një autotransformatori me dalje të tensionit të lartë (T.L) në mes të mbështjellës. Pjesa e mbështjellës me tension mesatar (ana e djathtë në figurë) sillet

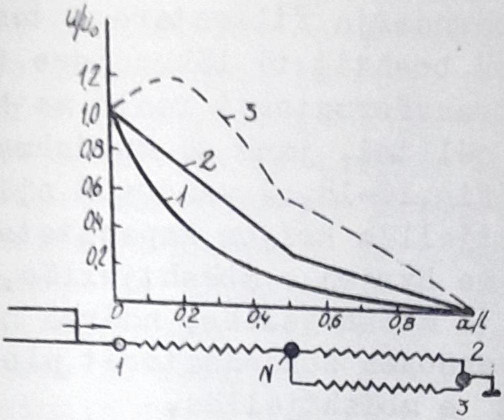


Fig. 10-16. Shpërndarja e tensionit në transformatorin me trifazë, kur vepron vala katërkëndësh këndrejtë e pafundme vetëm në njërën fazë. 1) shpërndarja fillestare; 2) boshti i lëkundjeve; 3) kurba mbështjellëse e tensionit maksimal.

njëlloj si në mbështjellën e tokëzuar . Tensioni i vendosur në mbështjellën e tensionit të lartë, e cila sillet si me neutër të izoluar, do të ishte U_o, por meqënë-se induktohet prej mbështjellës me tension mesatar, një tension $(K_T-1)\,U_o$, boshti i lëkundjeve do të kalojë në $2\,U_o$ për $K_T = 2$. Ky fakt shkakton që kurba e tensioneve maksimale, në daljen e tensionit të lartë, të marrë vlerën teorike deri në $4\,U_o$. Por për shkak të humbjeve amplituda maksimale nuk mund të kalojë $3\,U_o$.

10-8. Mbrojtja e brendshme e transformatorëve

Mbitensionet në pika të ndryshme të mbështjellave si dhe gradientët e rezikshëm të tensionit midis spiraleve ose bobinave të mbështjellës kryesisht shkaktohen sepse shpërndarja fillestare e tensionit nuk është e një trajtëshme. Prandaj për të larguar lëkundjet e tensionit, mbë-

shtjellat e transformatorëve duhet të ndërtohen në mënyrë të tillë që shpërndarja fillestare e tensionit ti afrohet sa më shumë boshtit të lëkundjeve (shpërndarjes përfundimtare në transformatorët realë me humbje). Për tia arritur këtij qëllimi, janë të mundshme dy skema bazë: në skemën e parë (fig.10-18,a) vendoset një ekran, i cili me bobinat e mbështjellës krijon kapacitetet plotësuese C_T. Ekrani lidhet me hyrjen e mbështjellës, d.m.th. ka tensionin e punës të mbështjellës; ndërsa në skemën e dytë (fig.10-18,b) vendosen kondensatorët plotësues ΔK, paralel me bobinat e mbështjellës.

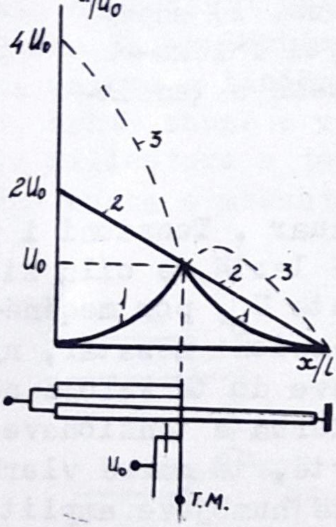


Fig. 10-17. Shpërndarja e tensionit në mbështjellat e autotransformatorit, kur vepron vala në anën e tensionit mesatar (T.M.) Koeficienti i transformimit K_T= 2:1) shpërndarja fillestare,2) boshti i lëkundjeve ;3) kurba e tensioneve maksimale.

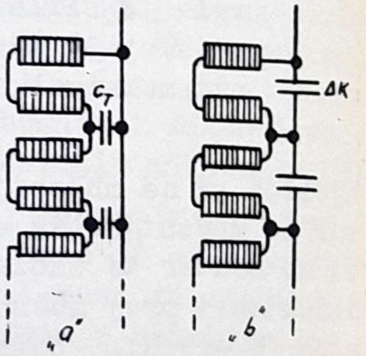


Fig.10-18. Skema bazë për barazimin e shpërndarjes fillestare me atë përfundimtare të tensionit :a) kompensim tërthor; b)kompensim gjatësor.

Po të vrejtojmë me kujdes skemën e zëvëndësimit të transformatorit (fig.10-10) do të kostatojmë se shpërndarja fillestare e tensionit do të puthitej me atë përfundimtare, në qoftë se kapacitetet tërthore C nuk do të ekzistonin. Rrymat elektrike që thithin kondensatorët C shkaktojnë pikëerisht shpërndarjen fillestare jo të njëtrajtëshme të tensionit. Në qoftë se rrymat që thithin kapacitetet tërthore do të jepeshin jo nëpërmjet kapaciteteve gjatësor K, por nëpër një rrugë tjetër, p.sh. nëpërmjet kapaciteteve të ekraneve C_T ose ΔK, shpërndarja fillestare e tensionit do të puthitej me atë përfundimtare. Provohet që për të ndodhur një gjë e tillë duhet të plotësohen kondita t :

$$C_T = \frac{l - x}{x} C ;$$

$$\Delta K = \frac{(l - x)^2}{2} C \qquad (10\text{-}59)$$

Në transformatorët 110 kV përdoren unaza kapacitive, të cilat barazojnë shpërndarjen e tensionit midis spirave të bobinës së parë. Në transformatorët me tension më të lartë, përveç kësaj , vendosen unaza të tjera ekranizuese, të cilat barazojnë shpërndarjen e tensionit midis bobinave në pjesën fillestare të mbështjellës.

Në fig. 10-19 (a) tregohet mënyra e kompensimit tërthor me ndihmën e unazave ekranizuese (3), kurse në fig. 10-19 (b) tregohen unazat kompensuese (3) për kompensimin gjatësor.

Praktikisht të gjitha metodat e rregullimit nuk arrijnë të barazojnë në mënyrë të plotë shpërndarjen e tensionit me atë përfundimtare. Në fig.10-20 tregohen kurbat e shpërndarjes fillestare të tensionit në mbështjellat e dy transformatorëve, njëri prej të cilëve është i pajisur me mbrojtje të mbrendshme.

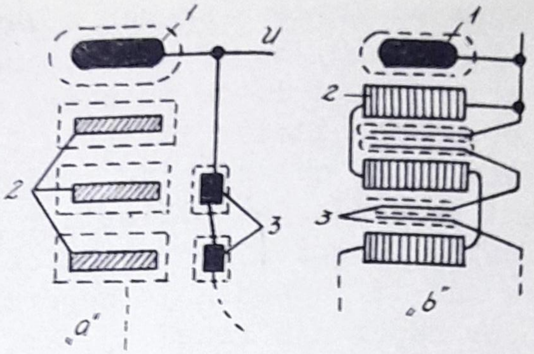


Fig. 10-19. Skemat e kompensimit të pjesshëm të transformatorëve me tension 154 KV e lartë ; a) kompensim tërthor;b) kompensim gjatësor.1) unazë kapacitive ; 2)mbështjella e transformatorit ;3)unaza kompensuese tërthore (a) dhe gjatësore (b).

Siç shihet, pajisja e mbështjellës me sistemin kompensues zvogëlon mjaft komponentet e lira të tensionit, prandaj lëkundjet e tensionit gjatë mbështjellës do të jenë mjaft të dobëta.

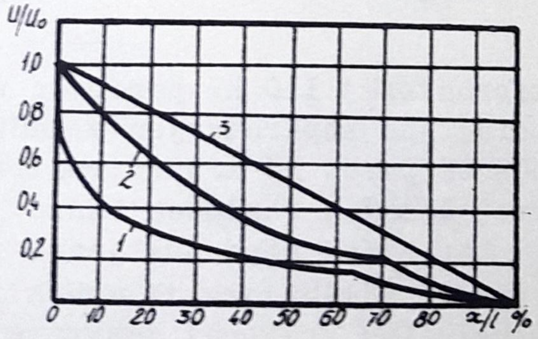


Fig. 10-20. Shpërndarja fillestare e tensionit në mbështjellat e transformatorëve: 1) transformator 220 kV pa kompensim; 2) po ai transformator me kompensim; 3) shpërndarja përfundimtare e tensionit.

10-9. Hyrja e valëve të tensionit aperiodik dhe periodik që shuhen në transformatorët

Proceset valore në transformatorët u analizuan për valë katërkëndësh këndrejtë të tensionit me gjatësi të pafundme. Në praktikë, në izolacionin e transformarëve, veprojnë valë me gjatësi të kufizuar dhe me shpejtësi të kufizuar të rritjes së tensionit në ballin e saj. Vala standarte e tensionit me të cilën provohen transformatorët ka gjatësi 50 μsek, e cila është praktikisht më e vogël se perioda e harmonikës së parë gjatësore. Prandaj lëkundjet në mbështjellën e transformatorit do të zhvillohen më dobët se në rastin e valës katërkëndësh këndrejtë të pafundme. Gradientët e tensionit që veprojnë midis spirave ose bobinave varen shumë nga shpejtësia e rritjes së tensionit në ballin e valës, d.m.th. nga gjatësia e ballit të valës. Prandaj valët e mbitensioneve që hyjnë në transformatorët do të jenë më pak të rrezikshme për izolacionin gjatësor. Por duhet patur parasysh që në praktikë në mbështjellat e transformatorëve mund të veprojnë valë tensioni të prera, që mund të rrezikojnë më tepër izolimin gjatësor të tyre.

Në afërsi të transformatorëve gjithnjë është i mundshëm shpimi i izolacionit në linjë, për shkak të mbitensioneve atmosferike (fig.10-21). Karakteri i ndryshimit të tensionit pas shpimit të izolasionit lidhet me procese lëkundëse në qark të formuara prej kapacitetit në hyrje (c_h) të transformatorit dhe induktiviteteve të lidhjes. Në çastin e prerjes lind një ndryshim shumë i shpejtë i tensionit, i cili duke marrë parasysh shurjen e lëkundjes mund të arrijë rreth 1,6 herë tensionin në çastin e prerjes. Në këto kondita në izolacionin gjatësor të transformatorëve lindin mbitensione me të rrezikshme se për valën e plotë. Prandaj, në uzinat prodhuese, transformatorët provohen edhe me valë të prera.

Në rast se në mbështjellën e transformatorit veprojnë tensione periodike që shuhen, si p.sh. disa mbitensione komutimi, në transformator mund të lindin lë-

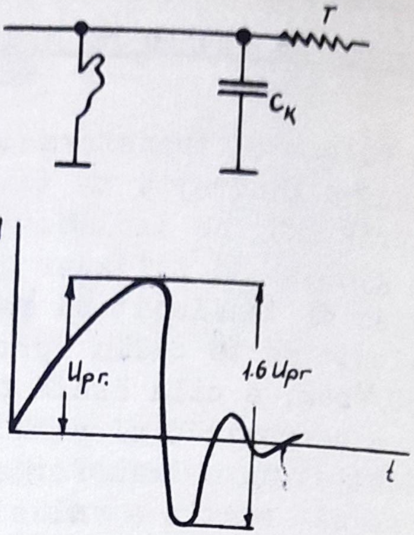


Fig. 10-21. Lindja e valës së prerë në transformatorët. T-transformator; C_h -kapaciteti në hyrje i transformatorit.

kundje të lira të cilat mund të shkaktojnë mbitensione të rrezikshme për izolacionin. Mbitensionet janë shumë të mëdha, në qoftë se frekuença e tensionit periodik që shuhet përputhet me ndonjë nga frekuencat vetjake (ω_k) të mbështjellës së transformatorit. Sidomos mbitensione të mëdha lindin kur rezonanca realizohet në harmonikën e parë, të dytë ose të tretë gjatësore të mbështjellës së transformatorit. Eksperienca tregon se mbitensionet e këtij tipi mund të arrijnë 2 deri 3 fishin e ampitudës së valës vepruese periodike që shuhet.

10-10. Procese valorë në mbështjellat e maqinave elektrike

Analizë e përpiktë e proceseve valore në maqinat rrotulluese deri në kohën e sotme nuk ekziston . Kjo shpjegohet me faktin që matasat në maqinat rrotulluese

kalojnë pjesërisht në kanalet e statorit dhe pjesërisht në ajër. Kështu, rezistenca valore dhe shpejtësia e përhapjes së valëve ndryshon shumë në pjesën e mbështjellës që kalon në kanalet kundrejt asaj në ajër. Vetëm studimet eksperimentale kanë nxjerrë në dritë disa përfundime mbi përhapjen e valëve në mbështjellat e maqinave rrotulluese. P.sh. është vënë në dukje se mbështjella e maqinave rrotulluese është afërsisht si një linjë e njëtrajtshme me gjatësi të kufizuar. Madhësia e rezistencës valore e mbështjellës së maqinave rrotulluese varet nga fuqia dhe nga tensioni normal dhe lëviz në kufij të gjërë prej 50 deri 1000 Ω, kurse shpejtësia mesatare e përhapjes së valëve lëviz në kufirin 15 deri 80m/μ sek. Koeficienti i shuarjes së valëve në mbështjellat e maqinave rrotulluese është mjaft i vogël dhe mund të pranohet me vlerën e afruar 0,02 μ sek $^{-1}$.

Nga studimi i proceseve valore në maqinat elektrike rezulton mundësia e veprimit të gradentëve të tensionit të konsiderueshëm në izolacionin midis spirave. Kjo shkaktohet kryesisht prej shpejtësisë relativisht të vogël të përhapjes së valëve gjatë mbështjellës. Supozojmë se vala e tensionit, që hyn në mbështjellën e maqinës rrotulluese, ka pjerrsi " α ". Tensioni midis dy pikave A,B, të afërta, d.m.th. në skajet e një spire (fig.10-22) mund të llogaritet si vijon :

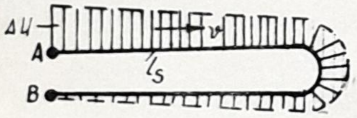


Fig. 10-22. Lindja e gradientit të tensionit gjatë mbështje - llës së maqinave rrotulluese.

koha në μ sek/ deri sa fillimi i valës të tensionit të shkojë prej pikës A në B do të jetë :

$$\tau = l_s/v \quad ; \qquad (10\text{-}60)$$

ku : l_s është gjatësia e spirës në m ;

v është shpejtësia e përhapjes së valëve në mbështjellë në m/μ sek. Atëhere tensioni që do të veprojë midis pikave A B do të jetë:

$$\Delta U = \alpha \tau = \frac{\alpha l_s}{v} \qquad (10\text{-}61)$$

Në qoftë se α do të shprehet në kV/μ sek, tensioni ΔU do të llogaritet në kV. Ky tension krijon rrezik të madh për shpimin e izolacionit midis pikave AB. Për zvogëlimin e tensionit ΔU nuk ekzistojnë metoda si në transformatorët për të eliminuar lëkundjet e tensionit. Mbrojtja e izolacionit midis spirave mund të realizohet vetëm duke zvogëluar pjerrësinë e valës deri në një vlerë të parrezikshme për izolacionin. Ky problem do të trajtohet në kapitullin e mbrojtjes së maqinave rrotulluese nga shkarkimet atmosferike.

--------- 0 ---------

LEK 7. 5

1

LEK 7. 5

UNIVERSITETI I TIRANES
FAKULTETI I INXHINIERISE

Ing. PETRAQ VASILI

Tensionet e larta

(PERPUNIM I KONSPEKT LEKSIONEVE)

I

TIRANE, 1975